TUGAS AKHIR - SM 141501

EVALUASI ALTERNATIF RANCANGAN RENOVASI BANGUNAN EKSISTING HOTEL X TERHADAP KONSEP GREEN BUILDING MELALUI PENDEKATAN FUZZY TOPSIS

HENNY KUSUMANINGRUM
NRP 1211 100 019

Dosen Pembimbing
Prof. DR. Mohammad Isa Irawan, MT

JURUSAN MATEMATIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

FINAL PROJECT - SM 141501

THE EVALUATION OF RENOVATION PLANNING ALTERNATIVES IN EXISTING BUILDING HOTEL X TOWARDS GREEN BUILDING CONCEPT WITH A FUZZY TOPSIS APPROACH

HENNY KUSUMANINGRUM
NRP 1211 100 019

Supervisor
Prof. DR. Mohammad Isa Irawan, MT

DEPARTMENT OF MATHEMATICS
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

EVALUASI ALTERNATIF RANCANGAN RENOVASI BANGUNAN EKSISTING HOTEL X TERHADAP KONSEP GREEN BUILDING MELALUI PENDEKATAN FUZZY TOPSIS

THE EVALUATION OF RENOVATION PLANNING ALTERNATIVES IN EXISTING BUILDIN HOTEL X TOWARDS GREEN BUILDING CONCEPT WITH A FUZZY TOPSIS APPROACH

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada bidang studi Ilmu Komputer Program Studi S-1 Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :
Henny Kusumaningrum
NRP. 1211 100 019

Menyetujui,
Dosen Pembimbing,

Prof. DR. M. Isa Irawan, MT
NIP : 19631225198903 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika
FMIPA ITS

Dr. Imam Mukhlash, S.Si, MT
NIP. 19700831 199403 1 003

Surabaya, 27 Januari 2016

EVALUASI ALTERNATIF RANCANGAN RENOVASI BANGUNAN EKSISTING HOTEL X TERHADAP KONSEP GREEN BUILDING MELALUI PENDEKATAN FUZZY TOPSIS

Nama Mahasiswa : Henny Kusumaningrum
NRP : 1211 100 019
Jurusan : Matematika
Dosen Pembimbing : Prof. DR. Mohammad Isa Irawan, MT

Abstrak

Konsep *green building* adalah bangunan ramah lingkungan yang memanfaatkan lingkungan demi meningkatkan kenyamanan penghuni. Demi tercapainya tuntutan efisiensi dan kehijauan ini, bangunan eksisting hotel X kemudian diperbaharui dengan konsep rendah energi, sehingga bangunan lebih tahan lama, hemat energi, perawatan rendah dan lebih sehat bagi penghuni. Namun, menentukan langkah renovasi bukanlah hal yang sederhana, terdapat banyak kriteria yang menjadi pertimbangan para pengambil keputusan pada penelitian ini, meliputi: efisiensi energi, keamanan keandalan, biaya investasi, biaya operasi dan pemeliharaan, biaya konsumsi listrik, ROI masa hidup, emisi CO_2, kenyamanan pelanggan. Dengan menerapkan metode fuzzy, para pengambil keputusan memberi penilaian secara linguistik. Penilaian tersebut kemudian diolah dengan metode fuzzy TOPSIS sehingga diperoleh nilai preferensi tiap alternatifnya; yaitu kedekatan dengan Solusi Ideal Positif (SIP) serta jarak dengan Solusi Ideal Negatif (SIN). Dari enam alternatif yang diajukan pada penelitian, diperoleh bahwa alternatif 4 (pemasangan jendela kaca-ganda) adalah alternatif terbaik bagi bangunan hotel X dengan nilai preferensi 0,830274.

Kata kunci: *Green Building, multi-criteria,* FMCDM, fuzzy TOPSIS, SPK, Renovasi Bangunan, Hotel Hijau

THE EVALUATION OF RENOVATION PLANNING ALTERNATIVES IN EXISTING BUILDING HOTEL X TOWARDS GREEN BUILDING CONCEPT WITH A FUZZY TOPSIS APPROACH

Name	***: Henny Kusumaningrum***
NRP	***: 1211 100 019***
Department	***: Mathematics***
Supervisor	***: Prof. DR. Mohammad Isa Irawan, MT***

Abstract

Green building concept is a concept of environmentally friendly building using the energy of nature to improve comfort to the inhabitants. To achieve the demands of efficiency, existing building Hotel X is renewed into a low energy concept building, so that will be more durable, energy efficient and healthier for the inhabitants. Deciding the way of Hotel X renovation is not a simple thing, there are several criterias that should be considered by the decision makers, which criterias on this research includes: energy efficiency, reliability, investment costs, operation and maintenance cost, electricity cost, ROI, lifespan, CO_2 emission, and customer comfortness. By applying fuzzy method, the decision makers are able to score each alternatives and criteria linguistically .This assessment is then processed by the method of fuzzy TOPSIS in order to obtain the preference value of each alternatives; i.e. proximity with a positive ideal solution (SIP) as well as the gap with negative ideal solution (SIN)

Key words: *Green Building, multi-criteria,* FMCDM, fuzzy TOPSIS, SPK, *Renovation, Retrofit, Green Hotel*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji hanya bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta petunjukNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul:

"Evaluasi Alternatif Rancangan Renovasi Bangunan Eksisting Hotel X terhadap Konsep Green Building melalui Pendekatan Fuzzy TOPSIS"

yang merupakan salah satu syarat menyelesaikan Program Studi S-1 di Jurusan Matematika FMIPA ITS.

Tugas akhir ini dapat diselesaikan berkat kerja sama, bantuan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. DR. Mohammad Isa Irawan, MT selaku dosen pembimbing tugas akhir.
2. Dr. Imam Mukhlash, S.Si, MT selaku ketua Jurusan Matematika ITS.
3. Dra. Farida Agustini Widjajati selaku dosen wali.
4. Drs. Soetrisno, MIKom, Dr. Budi Setiyono, S.Si, MT, Dr. Dwi Ratna, dan Kistosil Fahim, M.Si selaku dosen penguji tugas akhir.
5. Dr. Chairul Imron, MI.Komp. selaku kaprodi S1 Jurusan Matematika ITS.
6. Seluruh jajaran dosen dan staf Jurusan Matematika ITS.
7. Seluruh teman-teman mahasiswa Jurusan Matematika ITS.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan.

Surabaya, 26 Januari 2016

Penulis

special thanks to

Selama proses pembuatan tugas akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan untuk penulis. Penulis sungguh ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Lin Winuryati dan (Alm.) Bapak Nuryanto yang senantiasa memberi dukungan moral, motivasi dan doa yang tak terhingga untuk penulis sehingga dapat menyelesaikan segala sesuatu dengan lancar.
2. Kakak pertama penulis, Kurniawan Adhi Wijaya beserta istri, Vita Kirana Dyah Kusuma, dan kakak kedua penulis, Hendro Aribowo beserta istri, Isnaini Hairunnisa, yang telah memberikan berbagai dukungan begitu besar kepada penulis. Serta keponakan tersayang Bagas Dharma Gandhi Wijaya, Brama Wijaya yang selalu berhasil menghibur *auntie*.
3. Saudara trah Sastro Martono, sepupu Ika Permata Octasari, Siti Nuraini Lestiyoningsih, Om Sidiq Purnomo, Tante Purwati, Tante Wiwin, Tante Rastuti Susiloningsih, Tante Sri Rahayu, Budhe Sri Lestari, Pakdhe Ridwan, Om Eko Kristianto, Pakdhe Sriyadi, adik Aldino Rahardian, Ridho Naufal Miqdad, Bima Dwi Pradibta, Febriana Ragil Pratiwi, Mahatma Maghfirandito yang tiada hentinya memberi dukungan moral.
4. Sahabat penulis, Ainul Firdatun Nisaa', Wike Eriyandari, Ivana Irene Helen Adam, Firza Amelia Hidayat, Brigitta Devianti Cahyabuana, Chafid Ma'ruf, Bahalwan Apriyansah, yang selalu berada dalam susah maupun senang, selalu menjadi penghibur dan pendukung terbaik.
5. Keluarga besar International Office ITS, terima kasih sebesar-besarnya atas segala didikan dan pengalaman yang sungguh tak ternilai, Bu Maria Anityasari, Pak Unggul

Wasiwitono, Pak Heri Kuswanto. Serta volunteer-volunteer hebat yang selalu bekerja keras demi memberi yang terbaik bagi semuanya, *work hard play hard, you're all the best and my role model*, Mas Wahyu, mbak Puty, mbak Dewie Saktia, mbak Lely, mas Faisal, mas Hanif, mbak Vio, mbak Ricca, mbak Bunga, mbak Moiz, teman-teman di poin 5, Nela, Mia, Nova, Mutiara Rosa, Chaca, Rizqi, Rizal, Vidi, Faiqoh, PM, Ami, Erlia, Putri, Nola, Tyas, Eccy, Ganis, Georgi, Khara, Jajang

6. Teman-teman GBS 2015, yang selalu memberi dukungan berupa pengetahuan serta dukungan moral "jarak bukan masalah", Taoo, Karma, Dawa, Markus, Gehad, Daniel, Sam, Philip, Coco, Olga, *Crazy* Ali, Christina, Ricardo, Andrew, Megan, Sarah, Muhammad. *I will never forget my 22th birthday and Country Roads song since then lol.*

Tentu saja masih banyak pihak lain yang turut andil dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Semoga Allah membalas dengan balasan yang lebih baik bagi semua pihak yang telah membantu penulis. *Aamiin yaa rabbal 'aalamiin*.

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

Halaman

DAFTAR TABEL

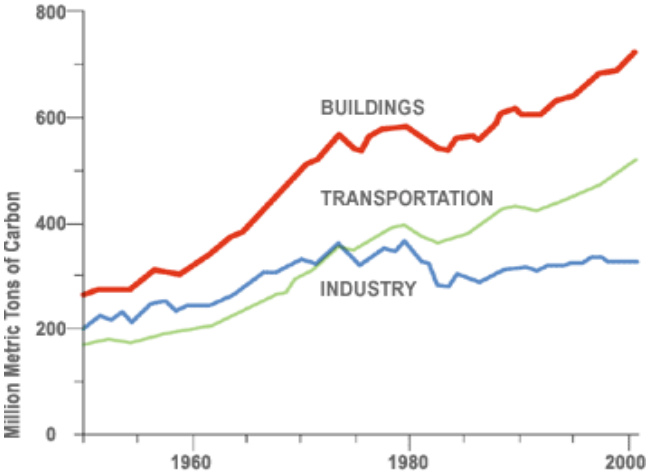
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, bangunan bertanggung jawab untuk lebih dari 40% penggunaan energi global, dan 1/3 emisi gas rumah kaca global baik di negara maju maupun negara berkembang. Selain itu, Laporan Evaluasi Keempat pada IPCC mengestimasi emisi GHG pada bangunan sebanyak sekitar 8,6 juta metrik ton CO_2 di 2004 (Levine et al, 2007). Yang turut mengkhawatirkan, tingkat perkembangan emisi CO_2 termasuk penggunaan listrik pada bangunan mengalami kenaikan seperti ditunjukkan ditunjukkan pada Gambar 1 yang dirujuk dari data *Electricity and Energy Statistics* (2011). Sejak 1971 hingga 2004 tingkat emisi naik 2.5% per tahun untuk bangunan komersial dan 1.6% untuk bangunan hunian (Levine et al, 2007). Di sisi lain, menurut IEA pada Laporan UNEP 2012, sektor bangunan memiliki potensi paling besar dalam upaya pengurangan konsumsi energi dibanding sektor lain.



Gambar 1 Grafik Konsumsi Energi per Sektor

Konsep sustainable building, atau lebih sering disebut green building adalah konsep bangunan ramah lingkungan yang mampu memanfaatkan kondisi lingkungan dan meminimalisir berbagai pengaruh yang membahayakan pada kesehatan manusia dan lingkungan.

Bangunan memiliki masa hidup yang cukup lama. Segala tindakan yang dilakukan di bangunan saat ini akan berpengaruh pada konsumsi energi serta emisi CO_2 kedepannya. Bangunan yang sudah dibangun dengan konsep konvensional kemudian diperbaharui dengan konsep rendah energi, sehingga bangunan lebih tahan lama, hemat energi, perawatan rendah dan lebih sehat bagi penghuni.

Bangunan hotel membutuhkan ketersediaan energi yang besar selama 24 jam sehari untuk keperluan operasional di dalamnya. Maka, perubahan bangunan hotel berpotensi tinggi memiliki dampak sangat besar dalam upaya menekan konsumsi energi baik dari pihak pemerintah, pelaku industri, maupun konsumen.

Upaya pengambilan langkah renovasi bangunan yang sudah ada (eksisting) adalah suatu hal yang kompleks dan multi obyektif. Perlu adanya banyak pertimbangan mengambil alternatif terbaik dari berbagai pihak terkait. Selain itu, data yang bersifat tidak pasti rawan muncul dari berbagai bentuk meliputi: informasi kualitatif, informasi yang tidak cukup, informasi yang tidak dapat diperoleh serta ketidaktahuan pengambil keputusan.

Oleh karena itu diperlukan suatu studi yang membantu proses pengambilan keputusan seobyektif mungkin. Metode fuzzy diyakini mampu memodelkan informasi yang mengandung ketidakjelasan melalui konsep bilangan fuzzy, dan dapat memproses bilangan fuzzy tersebut dengan operasi aritmatika. Bilangan fuzzy biasanya diekspresikan secara linguistik dengan bahasa yang mudah dipahami.

Penggunaan metode fuzzy MCDM terbukti menghasilkan kinerja yang sangat baik pada penelitian sebelumnya. Dari berbagai metode MCDM, TOPSIS (*Technique for Order*

Performance by Similarity to Ideal Solution) adalah teknik praktis yang berguna untuk merangking dan memilih beberapa alternatif dengan mengukur jarak Euclidean, yaitu kedekatan tiap alternatif dengan Solusi Ideal Positif (SIP) serta jarak dengan Solusi Ideal Negatif (SIN). Sehingga, perbandingan jarak dengan SIP dan SINnya mampu menghasilkan pilihan mana yang paling optimal. Oleh karena itu, metode Fuzzy TOPSIS mampu menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dari tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Bagaimana tahapan memilih alternatif renovasi terbaik pada bangunan hotel X berdasarkan metode Fuzzy TOPSIS?
2. Bagaimana menentukan kriteria dan atribut dalam pemilihan alternatif renovasi bangunan hotel X yang terbaik mengikuti konsep Green Building?
3. Bagaimana menentukan urutan alternatif yang telah ditetapkan dalam pengambilan keputusan?
4. Apa alternatif terbaik pada renovasi bangunan hotel X berdasarkan Fuzzy TOPSIS?

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup pembahasan dalam tugas akhir ini dibatasi sebagai berikut:

1. Studi kasus yang diambil adalah Hotel X.
2. Analisis pemakaian energi hanya pada konsumsi energi listrik.
3. Pengumpulan data dari hotel terkait, antara lain:
   a. Data primer melalui kuisioner.
   b. Pengamatan lapangan.
4. Pertimbangan kriteria mengabaikan faktor SDM (Karyawan) serta SOP Fasilitas yang berlaku.

1.4 Tujuan

Berdasarkan latar belakang di atas, maka tujuan dari tugas akhir yang diusulkan ini adalah sebagai berikut::

1. Mengetahui tahapan memilih alternatif renovasi terbaik pada bangunan hotel X berdasarkan metode Fuzzy TOPSIS.
2. Mengidentifikasi kriteria dan atribut dalam pemilihan alternatif renovasi bangunan hotel X .
3. Mengetahui urutan alternatif dari kriteria-kriteria yang telah ditetapkan dalam pengambilan keputusan.
4. Mengetahui alternatif terbaik pada renovasi bangunan hotel X berdasarkan Fuzzy TOPSIS.

1.5 Manfaat

Berdasarkan latar belakang di atas, maka manfaat penulisan tugas akhir yang diusulkan ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi pihak hotel, dapat mengetahui alternatif-alternatif renovasi bangunan serta kriteria pertimbangan yang sesuai dengan kondisi hotel X.
2. Diperoleh salah satu pendukung keputusan yang dapat membantu pihak pengambil keputusan dalam menentukan alternatif paling optimal.
3. Diperoleh acuan atau referensi yang dapat digunakan oleh pihak pelaku industri hotel yang ingin merenovasi bangunan dalam upaya menghemat energi.
4. Didapatkan suatu referensi atau tambahan pustaka untuk penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir

Sistematika penulisan pada tugas akhir ini disusun sebagai berikut:

1. Bab 1 Pendahuluan

   Bab ini menjelaskan tentang latar belakang pembuatan tugas akhir, rumusan dan batasan permasalahan yang dihadapi

dalam penelitian tugas akhir, tujuan dan manfaat pembuatan tugas akhir, dan sistematika penulisan tugas akhir.

2. Bab 2 Tinjauan Pustaka

   Bab ini menjelaskan tentang penelitian sebelumnya dan beberapa teori yang digunakan untuk membantu penyelesaian permasalahan tugas akhir.

3. Bab 3 Metodologi Penelitian

   Bab ini menjelaskan tentang metodologi sistematis untuk menyelesaikan suat permasalahan dengan baik dan terstruktur.

4. Bab 4 Pengolahan Data dan Analisis

   Bab ini menjelaskan proses pengumpulan data yang diperlukan dalam melakukan penelitian. Data diperoleh dari proses pengumpulan diskusi, penyebaran kuisoner serta data historis perusahaan. Pengolahan data dilakukan berdasarkan metodologi penelitian sebagaimana yang sudah dijelaskan di bab 3. Bab ini juga mencakup simulasi.

5. Bab 5 Penutup

   Bab ini berisi kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran yang selayaknya dilakukan apabila tugas akhir ini dilanjutkan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bangunan Hijau dan Hotel Hijau

Saat ini, hampir seluruh kegiatan manusia turut berkontribusi pada perubahan iklim. Laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) memperkirakan bahwa pada 1970 – 2004, emisi gas rumah kaca dikarenakan aktivitas manusia meningkat sebanyak 70% (2007). Banyak ahli meyakini adanya potensi perubahan iklim yang berbahaya dan berdampak signifikan pada hampir seluruh aspek lingkungan, ekonomi dan sosial di beberapa dekade ke depan. Menurut Lemmet (UNEP, 2009), dalam empat puluh tahun ke depan, manusia harus mampu menurunkan emisi gas rumah kaca minimal 50% untuk mencegah kasus terberat yang disebabkan oleh perubahan iklim.

Indonesia dalam dekade terakhir mengalami pertumbuhan konsumsi energi yang cenderung boros dan tidak produktif, ditandai dengan tingginya perbandingan antara laju pertumbuhan ekonomi dengan pertumbuhan konsumsi energi (elastisitas energi). Semakin kecil angka elastisitas energi, maka semakin efisien penggunaan energi. Angka elastisitas energi dibawah 1,0 dicapai apabila energi yang tersedia telah dimanfaatkan optimal. Elastisitas energi Indonesia saat ini mencapai 2,69. Jika tidak segera diatasi, hal ini akan mempercepat laju pengurasan energi, memperburuk perubahan iklim, dan melemahkan daya saing ekonomi nasional.

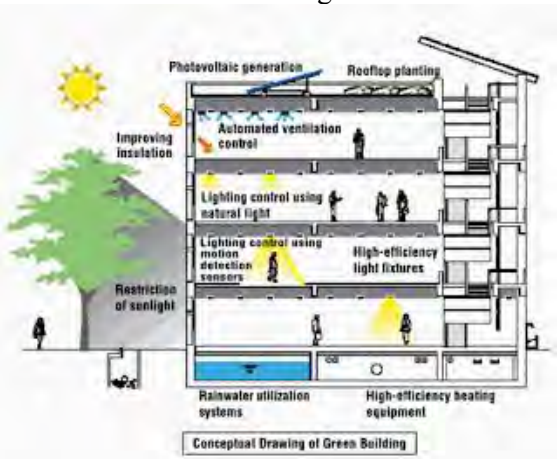
Di sisi lain, bangunan bertanggung jawab untuk konsumsi energi dunia sebanyak lebih dari 40%, dan kontribusinya pada emisi gas rumah kaca tahunan sebesar 30%. Sumber utama emisi gas rumah kaca pada bangunan adalah konsumsi energi, namun bangunan juga pembuang terbesar emisi non-CO_2 lainnya, seperti halokarbon.

Baiknya, sektor bangunan memiliki potensi paling besar daripada sektor lain, untuk membawa dampak yang signifikan

dan berkelanjutan. Maka dari itu, upaya efisiensi energi bangunan harus segera diambil untuk mengurangi dampak buruk yang lebih jauh.

Bangunan hijau (green building) saat ini menjadi unggulan upaya perkembangan berkelanjutan di abad ini yang bertanggung jawab menyeimbangkan sektor ekonomi, lingkungan dan kesehatan jangka panjang. Konsep ini memberi kesempatan untuk menciptakan bangunan ramah lingkungan, dengan pendekatan desain berintegrasi, sehingga bangunan lebih ramah lingkunan dan minim berdampak negatif pada lingkungan. Gambaran konseptual pemanfaatan energi lingkungan pada sebuah bangunan ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Desain hijau tidak hanya memiliki dampak positif pada kesehatan publik dan lingkungan, namun juga mampu mengurangi biaya operasional, meningkatkan pasar bangunan dan lembaga kontraktor, meningkatkan produktifitas penghuni, serta membantu terbentuknya komunitas berkelanjutan. Bangunan hijau umumnya efisien dalam penggunaan energi, memelihara kualitas air, tahan lama dan non-toxic, dengan ruang berkualitas tinggi dan konten material daur-ulang.



Gambar 2.1 Gambaran Konsep Pemanfaatan Energi Matahari pada Bangunan Hijau (Kubba, 2012)

Kata “hotel hijau” menegaskan hotel yang berupaya menjadi lebih ramah lingkungan dengan penggunaan energi, air, dan material yang efisien, tanpa mengurangi kualitas jasa. Hotel merupakan suatu bangunan yang didalamnya sangat membutuhkan ketersediaan energi yang besar selama 24 jam sehari. Hal ini membutuhkan jaminan ketersediaan suplai listrik yang mencukupi untuk menjaga produktivitas pelayanan hotel.

Dengan penerapan konsep hotel hijau, hotel mampu ikut memelihara lingkungan dengan menghemat air, menghemat penggunaan energi serta mengurangi limbah padat. Contohnya pada Gambar 2.2, hotel memanfaatkan energi matahari dengan baik pencahayaan ruangan tidak memakan banyak energi listrik. Begitu juga pemanfaatan lahan kosong sebagai “area hijau” yang menjadi sarana bagi penghuni untuk menghirup udara segar. Selain dimanfaatkan sebagai lahan hijau, area tersebut mampu mendinginkan suhu bangunan sehingga mampu membantu kerja pendingin ruangan.

Gambar 2.2 Contoh Bangunan Hijau Minim Penggunaan Lampu dan AC (Kubba, 2012)

Pada penelitian Ciptomulyono (2012), terdapat empat jenis alternatif peluang penghematan energi yang dapat diterapkan di sebuah bangunan hotel bintang 3 di Indonesia, yaitu: (i) perubahan standar operasional prosedur (SOP) penggunaan fasilitas hotel; (ii) renovasi atau penyesuaian desain bangunan hotel; (iii) penggunaan teknologi hemat energi; serta (iv) pelatihan dan pengembangan sumber daya manusia (SDM) hotel. Dari analisis audit energi yang dilakukan olehnya, sumber daya manusia (SDM) adalah faktor terpenting pada upaya efisiensi energi listrik. Budaya dan pola pikir mempengaruhi pemahaman SDM tentang pentingnya upaya efisiensi energi untuk penerapan tindakan konservasi. Dari penelitian tersebut, alternatif penggunaan fasilitas hotel terpilih menjadi alternatif terbaik berdasarkan kriteria-kriteria yang telah ditentukan.

Dari masalah tersebut, dapat ditunjukkan bahwa ada banyak hal yang menjadi pertimbangan bagi para pengambil keputusan. Tidak hanya efektifitas alternatif dalam efisiensi energi atau keramah-lingkungannya, namun juga ada hal lain yang tidak kalah penting untuk dipertimbangkan, seperti ekonomi, kenyamanan, tingkat pengembalian investasi, dll.

2.2 *Multi Criteria Decision Making* (MCDM)

Masalah dalam menyeleksi keputusan mana yang terbaik merupakan suatu hal yang kompleks, multi-obyektif, serta berdasarkan pada data yang tidak pasti. Oleh karena itu, hal ini dapat digambarkan dalam masalah pengambilan keputusan banyak-kriteria (MCDM) pada data yang belum pasti (uncertain), lebihnya alternatif yang muncul membutuhkan metode yang terpercaya untuk dapat berintegrasi dengan seluruh faktor secara metodis. Metode MCDM yang populer seperti Total Sum (TS), Simple Additive Weighting (SAW), AHP, ELECTRE dan PROMETHEE, serta TOPSIS (Hwang & Yoon, 1981).

Masalah MCDM dibagi menjadi 2 jenis (Wang & Lee, 2007); yaitu masalah MCDM klasik dengan peringkat dan bobot

kriteria ditimbang dalam nilai crisp, serta Fuzzy MCDM dengan peringkat dan bobot kriteria yang tidak pasti, samar, dan seringkali dibentuk secara linguistik lalu diubah ke dalam bilangan fuzzy (Zadeh, 1965).

Pada MCDM klasik, peringkat dan bobot alternatif ditimbang dalam bentuk nilai crisp. Metode klasik membutuhkan penilaian pengambil keputusan untuk menentukan bobot dan peringkat alternatif serta kriteria Nilai crisp seringkali merepresentasikan peringkat dan bebannya. Namun, pada kejadian real-nya, bobot dan peringkat alternatif serta kriteria tidak dapat dinilai secara pasti. Ketidakpastian data tersebut bisa saja muncul dari berbagai bentuk meliputi: informasi kualitatif, informasi yang tidak cukup, informasi yang tidak dapat diperoleh serta ketidak-tahuan pengambil keputusan (Yeh & Deng, 1997).

Ada beberapa fitur umum yang akan digunakan dalam MCDM (Janko, 2005), yaitu:

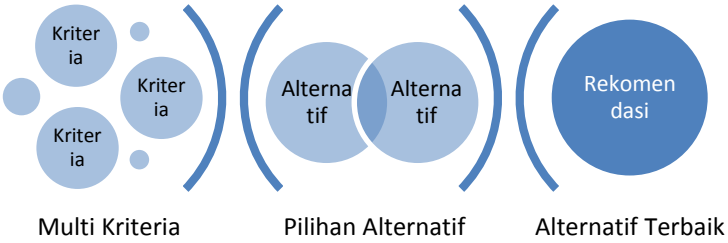
1. Alternatif, yaitu obyek yang berbeda dan memiliki kesempatan untuk dipilih oleh pengambil keputusan
2. Kriteria, atau sering disebut juga dengan karakteristik atau atribut, yaitu variabel yang menjadi dasar pertimbangan.
3. Konflik antar kriteria, adalah munculnya konflik antara satu kriteria dengan yang lainnya, misalnya kriteria keuntungan memiliki konflik dengan kriteria biaya.
4. Bobot keputusan, bobot yang menunjukkan kepentingan relatif dari setiap kriteria, $W = (w_1, w_2, \ldots, w_n)$. Pda MCDM akan dicari bobot kepentingan dari setiap kriteria.
5. Matriks keputusan, merupakan matriks X yang berukuran m x n, berisi elemen-elemen X_{ij}, yang merepresentasikan rating dari alternatif A_i (i = 1,2,...., m) terhadap kriteria C_j, (j = 1,2,....., n).

Saat peringkat dan bobot performansi tidak didapat dengan tepat, muncul teori himpunan fuzzy untuk memodelkan ketidakpastian penilaian manusia. Masalah tersebut sering dikenal dengan Fuzzy MCDM (FMCDM). Bellman dan Zadeh (1970)

pertama kali memperkenalkan teori himpunan fuzzy ke dalam MCDM yang berhadapan dengan sifat ketidakjelasan yang melekat, samar, serta ambiguitas manusia pada proses pengambilan keputusan. MCDM sudah banyak digunakan dalam memilih atau merangking himpunan alternatif keputusan, yang ditandai dengan munculnya banyak kriteria yang biasanya bertentangan. Usaha yang besar para peneliti terdahulu telah berbuah pada kemajuan signifikan pada perkembangan metodologi MCDM untuk menyelesaikan berbagai jenis masalah seperti peramalan pemilihan, pemilihan robot pada pabrik, serta pemilihan kreditur.

2.3 TOPSIS

TOPSIS pertama kali dikembangkan oleh Hwan dan Yoon (1981). TOPSIS didasarkan pada konsep bahwa pemilihan alternatif tidak hanya memiliki jarak terpendek dari solusi ideal positif (SIP), namun juga memiliki jarak terpanjang dari solusi ideal negatif (SIN). Konsep ini banyak digunakan pada beberapa model MCDM untuk menyelesaikan masalah keputusan secara praktis. Hal ini dikarenakan konsepnya yang sederhana dan mudah dipahami.



Gambar 2.3 Gambaran Umum Metode TOPSIS

Gambar 2.3 menunjukkan kasus penggunaan metode TOPSIS untuk menyeleksi banyak alternatif dengan pertimbangan banyak kriteria, sehingga mampu diperoleh satu alternatif terbaik sebagai rekomendasi.

Secara umum, prosedur TOPSIS mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan matriks keputusan.
2. Membuat matriks keputusan ternormalisasi.
3. Membuat matriks keputusan ternormalisasi terbobot.
4. Menentukan matriks solusi ideal positif (SIP) dan solusi ideal negatif (SIN).
5. Menentukan jarak antara nilai setiap alternatif dengan matriks SIP dan matriks SIN.
6. Menentukan nilai preferensi untuk setiap alternatif.

TOPSIS menunjukkan rating kinerja setiap alternatif *A*, pada setiap kriteria *Ci* yang ternormalisasi, yaitu dengan menentukan matriks normalisasi r_{ij} sebagai berikut:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(x_{ij}\right)^2}}$$

dengan i = 1,2,.....,*10* ; j = 1,2,.....,*6*.

Berdasarkan matriks terbobot ternormalisasi (y_{ij}) yang diperoleh dengan cara berikut, maka SIP (A^+) dan SIN (A^-) dapat ditentukan. Berikut persamaannya:

$$y_{ij} = w_i \cdot r_{ij}$$

$$\text{SIP } A^+ = \max\left(y_1^+, y_2^+, \ldots\ldots, y_n^+\right);$$

dengan y_j^+adalah : - max y_{ij}, jika j adalah atribut keuntungan
- min y_{ij}, jika j adalah atribut biaya

$$\text{SIN } A^- = \min\left(y_1^-, y_2^-, \ldots\ldots, y_n^-\right);$$

dengan y_j^- adalah : - min y_{ij}, jika j adalah atribut keuntungan
- max y_{ij}, jika j adalah atribut biaya

Jarak antar alternatif A_i dengan SIPnya dirumuskan sebagai berikut:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(y_i^+ - y_{ij}\right)^2}$$

dengan i = 1,2,.....,n ; j = 1,2,.....,m.

Sedangkan jarak antara alternatif A_i dengan SIN dirumuskan sebagai berikut:

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(y_{ij} - y_i^-\right)^2}$$

dengan i = 1,2,.....,n ; j = 1,2,.....,m.

Kedekatan masing-masing alternatif ditunjukkan dengan nilai preferensi. Untuk setiap alternatif, nilai preferensi (V_i) diberikan sebagai:

$$V_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+}$$

dengan i = 1,2,.....,n.

Nilai V_i yang paling besar menunjukkan bahwa alternatif A dengan V_i tersebut adalah alternatif terbaik yang paling sesuai berdasarkan pertimbangan kriteria.

2.4 Himpunan Fuzzy

Pada akhir abad ke-19 hingga akhir abad ke-20, teori probabilitas memegang peranan penting untuk penyelesaian masalah ketidakpastian. Teori ini terus berkembang, hingga

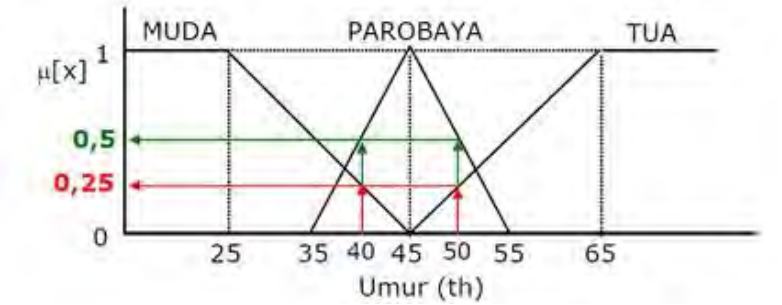
akhirnya pada tahun 1965, Lotfi. A. Zadeh memperkenalkan teori himpunan fuzzy, yang memberikan suatu pemecahan masalah terhadap persoalan yang tidak pasti ini. Prof. Lutfi Zadeh berpendapat bahwa logika benar dan salah dari logika boolean/konvensional tidak dapat mengatasi masalah gradasi yang ada di dunia nyata. Untuk mengatasi masalah gradasi tersebut maka ia mengembangkan sebuah himpunan samar (fuzzy).

Alasan mengapa logika fuzzy digunakan (Cox, 1995), diantaranya:

1. Logika fuzzy sangat fleksibel.
2. Logika fuzzy memiliki toleransi.
3. Konsep logika fuzzy mudah dimengerti. Konsep matematis yang mendasari penalaran fuzzy sangat sederhana dan mudah dimengerti.
4. Logika fuzzy mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinear yang sangat kompleks.
5. Logika fuzzy dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
6. Logika fuzzy dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
7. Logika fuzzy didasarkan pada bahasa alami. (Kusumadwi, 2002)

Pada himpunan tegas (crisp), nilai keanggotaan suatu item x dalam suatu himpunan A, yang sering ditulis dengan μA[x], memiliki 2 kemungkinan (Kusumadewi S, Purnomo H, 2010) yaitu:

1. Satu (1), yang berarti bahwa suatu item menjadi anggota dalam suatu himpunan, atau
2. Nol (0), yang berarti bahwa suatu item tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan.



Gambar 2.4 Contoh Kasus Keanggotaan Fuzzy "Umur"

Terkadang muncul kerancuan dalam keanggotaan fuzzy dengan probabilitas. Keduanya memiliki nilai pada interval [0,1], namun interprestasi nilainya sangat berbeda antara kedua kasus tersebut. Keanggotaan fuzzy memberikan suatu ukuran terhadap pendapat atau keputusan, sedangkan probabilitas mampu mengindikasi frekuensi munculnya suatu nilai benar dalam jangka panjang.

Teori himpunan fuzzy merupakan kerangka matematis yang mampu merepresentasikan ketidakpastian, ketidakjelasan, ketidaktepatan, kekurangan informasi, dan kebenaran parsial (Tettamanzi, 2001). Kurangnya informasi, dalam menyelesaikan permasalahan seringkali dijumpai di berbagai bidang kehidupan.

Salah satu fitur yang menarik dari fuzzy adalah mampu memodelkan informasi yang mengandung ketidakjelasan melalui konsep bilangan fuzzy, dan dapat memproses bilangan fuzzy tersebut dengan operasi aritmatika. Bilangan fuzzy baisanya diekspresikan secara linguistik dengan bahasa yang mudah dipahami. Menurut Rouhani et al. (2012) beberapa definisi penting dasar fuzzy set yang dikutip dari Amiri (2010) sebagai berikut:

1. Sejumlah fuzzy segitiga dapat didefinisikan oleh triplet $\tilde{a}$ = (a_1 , a_2 , a_3). Fungsi keanggotaan $\mu\tilde{a}(x)$ didefinisikan sebagai berikut:

$$\tilde{a}(x) = \begin{cases} \dfrac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 \leq x < a_2 \\ \dfrac{x - a_3}{a_2 - a_3} & a_2 \leq x < a_3 \\ 0 & x < a_1 \text{ atau } x > a_3 \end{cases}$$

2. Jika dua bilangan fuzzy segitiga yang masing-masing ditunjukkan oleh $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ dan $\tilde{a} = (b_1, b_2, b_3)$maka hukum operasional dari dua bilangan fuzzy segitiga adalah sebagai berikut:

$$\tilde{a}(+)\tilde{b} = (a_1, a_2, a_3)\ (+)\ (b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3)$$

$$\tilde{a}(-)\tilde{b} = (a_1, a_2, a_3)\ (-)\ (b_1, b_2, b_3) = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3)$$

$$\tilde{a}(\times)\tilde{b} = (a_1, a_2, a_3)\ (\times)\ (b_1, b_2, b_3) = (a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, a_3 \times b_3)$$

$$\tilde{a}(/)\tilde{b} = (a_1, a_2, a_3)\ (/)\ (b_1, b_2, b_3) = (a_1 / b_1, a_2 / b_2, a_3 / b_3)$$

$$k\tilde{a} = (ka_1, ka_2, ka_3)$$

3. Sebuah variabel linguistik yang hadir dengan kata-kata seperti penggunaan yang sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, sangat tinggi untuk menggambarkan kondisi yang kompleks (Zadeh, 1975). Nilai-nilai linguistik juga dapat direpresentasikan oleh bilangan fuzzy (Amiri, 2010).

Dengan a_1, a_2, a_3 adalah bilangan riil. Nilai dari x pada a_2 memiliki derajat maksimal pada $\mu\tilde{a}(x)$, contohnya, $\mu\tilde{a}(x)$ = 1; ini merupakan nilai paling mungkin pada data evaluasi. Nilai x pada a_1 memiliki derajat minimal dari $\tilde{a}(x)$, $\mu\tilde{a}(x) = 0$; yang

merupakan nilai paling kecil pada data. Konstanta a_1 dan a_3 adalah batas bawah dan batas atas dari area pada data evaluasi.

Konstanta ini merefleksikan sifat fuzzy pada data yang dievaluasi. Semakin kecil interval $[a_1, a_3]$, maka sifat fuzzy pada data semakin rendah.

Jarak antar fuzzy segitiga dapat diketahui. Dengan mengambil $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ dan $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3)$ sebagai dua bilangan fuzzy segitiga. Jarak antar keduanya diperoleh dengan metode vertex sebagai berikut:

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]}$$

2.5 Fuzzy TOPSIS

Apabila data-data atau informasi yang diberikan, baik oleh pengambil keputusan, serta data tentang atribut suatu alternatif tidak dapat disajikan dengan lengkap atau mengandung ketidak-pastian, maka metode MCDM biasa tidak dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ini. Masalah ketidakpastian bisa disebabkan oleh beberapa hal, seperti:

1. Informasi yang tidak dapat dihitung secara numerik;
2. Informasi yang tidak lengkap;
3. Informasi yang tidak jelas;
4. Pengabaian parsial.

Untuk mengatasi masalah tersebut, maka beberapa penelitian tentang penggunaan metode fuzzy MCDM mulai banyak dilakukan dan terbukti menghasilkan kinerja yang sangat baik.

Dari berbagai metode MCDM, TOPSIS (*Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution*) adalah teknik praktis yang berguna untuk merangking dan memilih beberapa alternatif dengan mengukur jarak Euclidean. Metode ini mendasari konsep bahwa alternatif yang akan terpilih harus memiliki jarak terdekat dari solusi ideal positif (SIP), yaitu solusi yang memiliki kriteria keuntungan yang maksimal serta kriteria biaya yang minimum. Begitu juga berjarak paling jauh dengan

solusi ideal negatif (SIN), yaitu solusi yang memaksimalkan kriteria biaya dan meminimumkan kriteria keuntungan.

Fuzzy TOPSIS telah digunakan untuk permasalahan pengambilan keputusan multi kriteria. Kahraman mengaplikasikan fuzzy TOPSIS pada prosesl seleksi sistem robot industri. Wang dan Chang menggunakan fuzzy TOPSIS untuk membantu Akademi Angkatan Udara di Taiwan untuk memilih pesawat awal mana yang terbaik latihan. Kim juga mempresentasikan pendekatan fuzzy TOPSIS untuk memodelkan proses adopsi produk pada pelanggan.

Berikut ini merupakan langkah-langkah menentukan pembobotan kriteria dengan menggunakan metode fuzzy TOPSIS:

1. Menentukan variabel linguistik yang tepat untuk pembobotan kriteria dan pemilihan alternatif.
2. Memberi nilai kriteria dengan metode fuzzy untuk membentuk matriks keputusan.

$$T = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \end{array}$$

$$W = [w1 \quad w2 \quad \dots \quad w_n]$$

dengan C_i = kriteria ke-i

A_j = alternatif ke-j

W = vektor bobot kriteria

3. Membentuk matriks fuzzy keputusan ternormalisasi dengan menggunakan rumus:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_{ij})^2}}$$

Dengan i = 1,2,.....,n ; j = 1,2,.....,m.

4. Membentuk matriks keputusan ternormalisasi terbobot dengan rumus:

$$y_{ij} = w_i \cdot r_{ij}$$

5. Menentukan SIP dan SIN.

SIP $A^+ = \max\,(y_1^+, y_2^+, \ldots\ldots, y_n^+)$;

dengan y_j^+ adalah : - max y_{ij}, jika j adalah atribut keuntungan
- min y_{ij}, jika j adalah atribut biaya

SIN $A^- = \min\,(y_1^-, y_2^-, \ldots\ldots, y_n^-)$;

dengan y_j^- adalah : - min y_{ij}, jika j adalah atribut keuntungan
- max y_{ij}, jika j adalah atribut biaya

6. Menghitung jarak nilai setiap alternatif dengan matriks SIP dan matriks SIN dengan rumus

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(y_i^+ - y_{ij}\right)^2}$$

dengan i = 1,2,.....,n ; j = 1,2,.....,m.

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(y_{ij} - y_i^-\right)^2}$$

dengan i = 1,2,.....,n ; j = 1,2,.....,m.

7. Menentukan nilai preferensi untuk setiap alternatif dengan rumus sebagai berikut

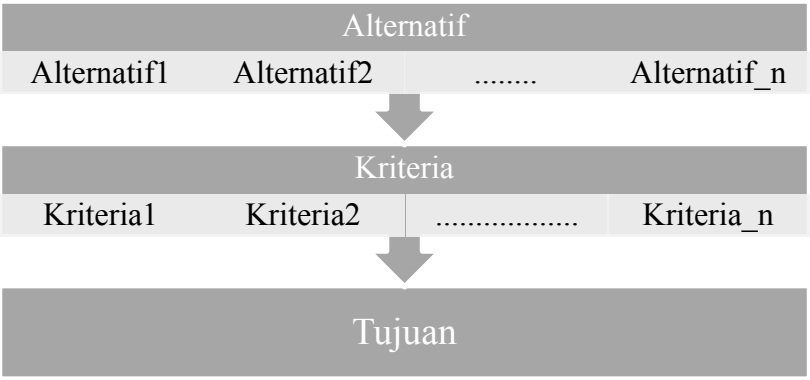
$$V_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+}$$

8. Mengurutkan dan mengambil kesimpulan.

Keseluruhan tahapan penyelesaian dengan metode fuzzy TOPSIS terangkum dalam Tabel 2.1. Penyelesaian fuzzy TOPSIS ini perlu dibangun pula struktur hirarki masalah keputusan dengan beberapa pertimbangan, ditunjukkan pada Gambar 2.5.

Tabel 2.1 Rangkuman tahapan penyelesaian fuzzy TOPSIS

Langkah	Aktifitas	Alat Penting
Representasi masalah	• Identifikasi tujuan dan kumpulan alternatif, A = $\{A_j\}$; i=1,2,….,m • Identifikasi kriteria, C = $\{C_i\}$; j=1,2,….,n • Membangun struktur hirarki masalah keputusan dengan beberapa pertimbangan	
Evaluasi himpunan fuzzy	• Memilih himpunan rating untuk bobot-bobot pada setiap kriteria dan derajat kecocokan dari alternatif terhadap kriteria. • Mengevaluasi bobot pada setiap kriteria dan derajat kecocokan dari alternatif terhadap kriteria.	Variabel linguistik, bilangan fuzzy segitiga
Seleksi alternatif terbaik	• Memprioritaskan alternatif keputusan berdasarkan agregasi • Memilih alternatif keputusan dengan priortias tertinggi sebagai hasil alternatif terbaik.	Perangkingan



Gambar 2.5 Struktur Hirarki Permasalahan

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Representasi Masalah

Bagian ini merupakan langkah awal dalam mengembangkan penelitian dengan metode Fuzzy TOPSIS. Terdapat 3 aktifitas utama pada representasi masalah ini yang meliputi:

1. Identifikasi masalah.
   Identifikasi masalah adalah proses penelitan yang boleh dikatakan paling penting diantara proses lain. Masalah penelitian akan menentukan kualitas dari penelitian, bahkan juga menentukan apakah sebuah kegiatan bisa disebut penelitian atau tidak. Masalah penelitian secara umum bisa kita temukan lewat studi literatur atau lewat pengamatan lapangan (observasi, survey, dsb).
2. Identifikasi tujuan dan kumpulan alternatif keputusan
   Tujuan keputusan dapat ditunjukkan dengan menggunakan bahasa alami atau nilai numerik sesuai dengan karakteristik dari masalah tersebut. Jika ada n alternatif keputusan dari suatu masalah, maka alternatif-alternatif tersebut dapat ditulis sebagai A = $\{Ai \mid i=1,2,.....,n\}$.
3. Identifikasi kumpulan kriteria
   Jika ada k kriteria, maka dapat ditulis C = $\{Ct \mid t= 1,2,....,k\}$.
4. Struktur hirarki
   Struktur hirarki dari masalah penelitian ini dibangun berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tertentu yang didiskusikan dengan responden. Struktur hirarki ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Tipe data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer. Data primer pada penelitian ini didapat melalui diskusi dengan responden terpilih secara langsung kepada dua pihak hotel

Gambar 3.1 Struktur Hirarki Masalah Renovasi dalam Upaya Efisiensi Energi Gedung Hotel X.

(bagian teknik dan manajemen) dan ahli, serta pembagian kuisoner. Responden terpilih atas dasar kepemilikan pengaruh dalam pengambilan keputusan serta pengetahuan akan studi kasus yang sangat baik. Gambaran keseluruahn tahap representasi masalah ditunjukkan pada Gambar 3.2.

Gambar 3.2 Diagram Alir Tahap Representasi Masalah Penelitian

3.2 Evaluasi Himpunan Fuzzy

Pada bagian ini dilakukan penentuan himpunan rating untuk bobot-bobot kriteria, derajat kecocokan setiap alternatif, serta fungsi keanggotaan untuk setiap rating. Dalam penelitian ini, variabel linguistik yang digunakan untuk merepresentasikan bobot kepentingan dan bobot keputusan, diadopsi dari Mahdavi (2008) ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Variabel linguistik untuk kepentingan kriteria

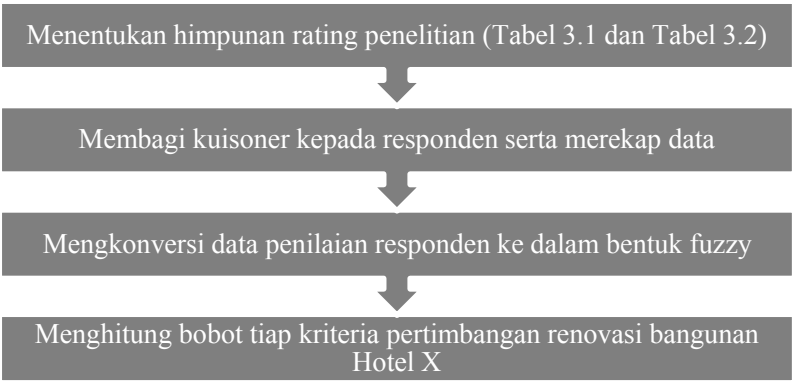
Bentuk Linguistik	Fungsi Keanggotaan
Sangat Tidak Penting (STP)	(0, 0, 0,1)
Tidak Penting (TP)	(0, 0,1, 0,3)
Kurang Penting (KP)	(0,1, 0,3, 0,5)
Sedang	(0,3, 0,5, 0,7)
Cukup Penting (P)	(0,5, 0,9, 1)
Penting (P)	(0,7, 0,9, 1)
Sangat Penting (SP)	(0,9, 1, 1)

Tabel 3.2 Variabel linguistik untuk bobot keputusan

Bentuk Linguistik	Fungsi Keanggotaan
Sangat Tidak Baik (STB)	(0, 0, 1)
Tidak Baik (TB)	(0, 1, 3)
Kurang Baik (KB)	(1, 3, 5)
Sedang (S)	(3, 5, 7)
Cukup Baik (CB)	(5, 9, 10)
Baik (B)	(7, 9, 10)
Sangat Baik (SB)	(9, 10, 10)

Setelah himpunan rating dan fungsi keanggotaan ditentukan, lalu mengevaluasi bobot-bobot kriteria keputusan dan derajat kepentingan setiap alternatif dengan kriteria. Gambaran

tahap evaluasi himpunan fuzzy ditunjukkan pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Diagram Alir Tahap Evaluasi Himpunan Fuzzy

3.3 Seleksi Alternatif Terbaik

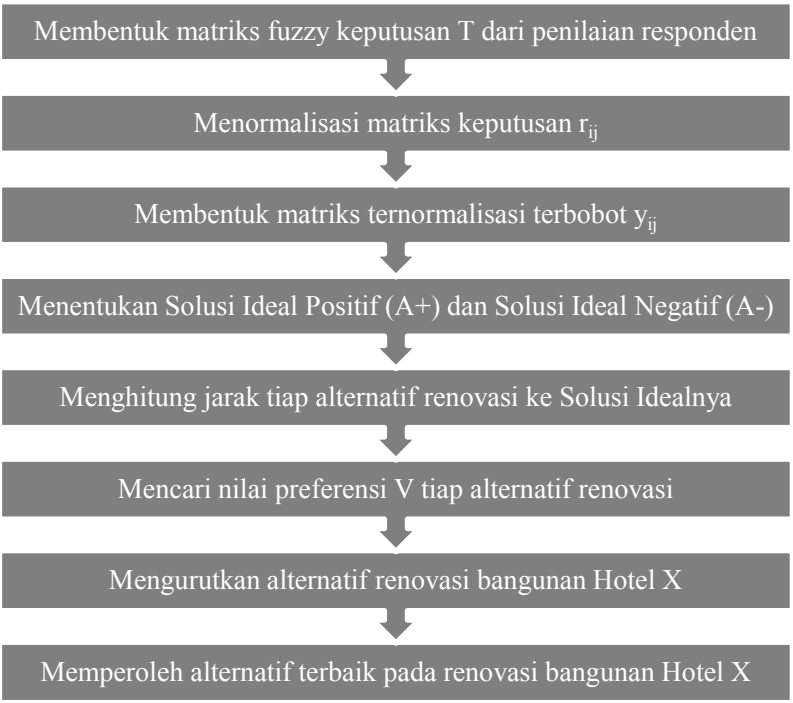
Pada bagian ini, metode TOPSIS diaplikasikan untuk merangking alternatif keputusan berdasarkan hasil agregasi. Diagram alir penyelesaian seleksi alternatif terbaik ditunjukkan pada Gambar 3.4. Selanjutnya, berikut dijelaskan penggunaan metode fuzzy TOPSIS, sebagai berikut:

1. Membentuk matriks fuzzy keputusan.

$$T = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \end{array}$$

$$W = [w1 \quad w2 \quad \dots \quad w_n]$$

dengan C_i = kriteria ke-i
A_j = alternatif ke-j
W = vektor bobot kriteria



Gambar 3.4 Diagram Alir Seleksi Alternatif Terbaik

2. Membentuk matriks fuzzy keputusan ternormalisasi dengan menggunakan rumus:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(x_{ij}\right)^2}}$$

dengan i = 1,2,.....,n ; j = 1,2,.....,n.

3. Membentuk matriks keputusan ternormalisasi terbobot dengan rumus:

$$y_{ij} = w_i \cdot r_{ij}$$

4. Menentukan SIP dan SIN dengan rumus:

$$\text{SIP } A^{+} = \max\,(y_1^{+}, y_2^{+}, \ldots\ldots, y_n^{+});$$

dengan y_j^{+} adalah : - max y_{ij} , jika j adalah atribut keuntungan
- min y_{ij}, jika j adalah atribut biaya

$$\text{SIN } A^{-} = \min\,(y_1^{-}, y_2^{-}, \ldots\ldots, y_n^{-});$$

dengan y_j^{-} adalah : - min y_{ij} , jika j adalah atribut keuntungan
- max y_{ij}, jika j adalah atribut biaya

5. Menghitung jarak nilai setiap alternatif dengan matriks SIP dan matriks SIN dengan rumus:

$$D_i^{+} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(y_i^{+} - y_{ij}\right)^2}$$

dengan i = 1,2,.....,n ; j = 1,2,.....,m.

$$D_i^{-} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(y_{ij} - y_i^{-}\right)^2}$$

dengan i = 1,2,.....,n ; j = 1,2,.....,m.

6. Menentukan nilai preferensi untuk setiap alternatif dengan rumus berikut. Nilai V_i yang paling besar menunjukkan bahwa alternatif A dengan V_i tersebut adalah alternatif terbaik yang paling sesuai berdasarkan pertimbangan kriteria.

$$V_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+}$$

7. Mengurutkan dan mengambil kesimpulan.

BAB IV

PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan proses pemilihan, pengumpulan dan pengolahan data penelitian beserta pembahasannya. Data yang diperoleh merupakan data primer yang diperoleh dari wawancara, diskusi dengan *expert* serta pembagian kuesioner. Representasi masalah digambarkan pada awal bab ini sebelum proses pengolahan data dengan menggunakan metode fuzzy TOPSIS dan seperti uraian bab sebelumnya. Olahan data tersebut selanjutnya dipergunakan untuk memperoleh rekomendasi alternatif terbaik pada renovasi bangunan hotel X dalam rangka efisiensi energi.

4.1 Representasi Masalah

Berdasarkan studi lapangan dan diskusi dengan 3 expert yang meliputi pihak teknisi, manajemen, dan ahli lingkungan; penulis memperoleh gambaran mengenai situasi terkini, tantangan serta kesempatan upaya efisiensi energi pada bangunan hotel X. Bangunan 27 lantai ini memiliki luas tanah 10.393 m^2 dengan luas bangunan 46.595 m^2. Namun, merenovasi atau mengubah desain sebuah bangunan yang berdiri sejak 1996 tidaklah mudah. Umum diketahui bahwa merenovasi sebuah bangunan terkadang membutuhkan usaha yang lebih besar dibandingkan membangun bangunan baru, dikarenakan perubahan yang direncanakan seringkali harus menyesuaikan dengan desain yang telah ada pada bangunan.

Tapi, disisi lain, selalu ada keinginan yang besar untuk menghemat energi yang berdampak besardasar selagi meningkatkan kualitas hidup pengguna. Oleh karena itu, rancangan renovasi pada bangunan hotel harus dipertimbangkan dengan matang demi tercapainya tujuan.

Alternatif yang diajukan pada penelitian ini diharapkan mampu menghemat energi sebesar-besarnya serta meminimalkan pengaruh buruk terhadap lingkungan alam maupun manusia dan menghasilkan tempat hidup yang lebih baik dan lebih sehat.

Dengan konsep renovasi bangunan yang berikut rencana alternatif-alternatif yang diajukan kepada hotel X:

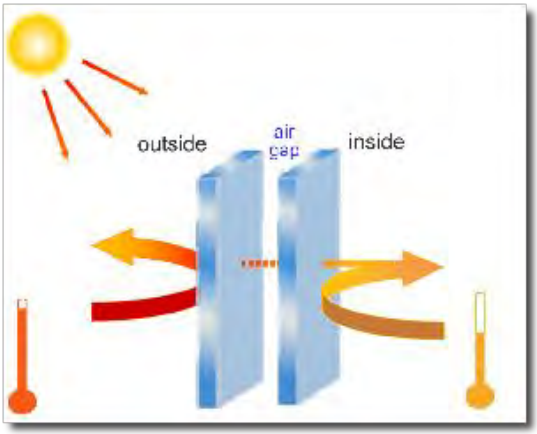
1. Pemasangan solar termal (*solar thermal*)
   Penggunaan solar termal dapat meringankan kebutuhan energi listrik bangunan dan memberikan keuntungan antara lain tidak perlu takut kebakaran, hubungan pendek (korsleting), bebas polusi, dan hemat listrik.
2. Penggunaan tenaga angin (*wind power*)
   Sumber energi terbarukan dan dapat diandalkan ini tidak terkena dampak harga bahan bakar fosil yang fluktuatif. Tenaga angin adalah gerakan materi (udara) yang mampu menggerakkan turbin. Turbin angin dimanfaatkan untuk menghasilkan energi kinetik maupun energi listrik. Ilustrasi penggunaan solar termal dan tenaga angin sekaligus dalam satu bangunan dapat diilustrasikan pada Gambar 4.1.

Gambar 4.1 Ilustrasi Pemasangan Solar Termal dan Tenaga Angin pada Satu Bangunan (Hilton, 2015)

3. Pemanfaatan panas bumi (*heat pump*)
   Panas bumi adalah suatu bentuk energi panas yang dihasilkan dan disimpan di dalam bumi. Energi panas bumi berasal dari energi hasil pembentukan planet (20%)

dan peluruhan radioaktif dari mineral (80%). Uap panas atau air bawah tanah dapat dimanfaatkan, dibawa ke permukaan, dan dapat digunakan untuk membangkitkan listrik.

4. Pemasangan jendela kaca ganda (*double glazed window*)
   Jenis khusus dari jendela yang terdiri dari dua panel kaca dipisahkan oleh lapisan gas (biasanya udara). Cara kerja jendela kaca-ganda ini dapat dilihat pada Gambar 4.2. Panel kaca ini dan lapisan gasnya disegel ketat untuk meningkatkan isolasi properti jendela, sehingga jendela kaca ganda memberikan perlindungan yang lebih baik dari suhu luar baik di iklim panas ataupun dingin.



Gambar 4.2 Ilustrasi Cara Kerja Jendela Kaca-Ganda (Abaza, 2006)

5. Perubahan ventilasi atap dan facade
   Bangunan dirancang agar pada siang hari penerangan ruangan bisa menggunakan cahaya dari matahari, tidak terlalu banyak menggunakan lampu listrik. Bangunan didesain agar sirkulasi udara berjalan dengan baik,

sehingga untuk mendinginkan suhu ruangan tidak membutuhkan banyak energi dalam penggunaan AC.

6. Penerapan sistem kontrol (*control system*)
   Penerapan teknologi dan sistem kontrol yang canggih dilakukan dengan perubahan pada kontrolnya. Misalnya seperti penggunaan sensor okupansi yang mengatur penggunaan lampu menyala atau mati, dengan mendeteksi keberadaan seseorang.

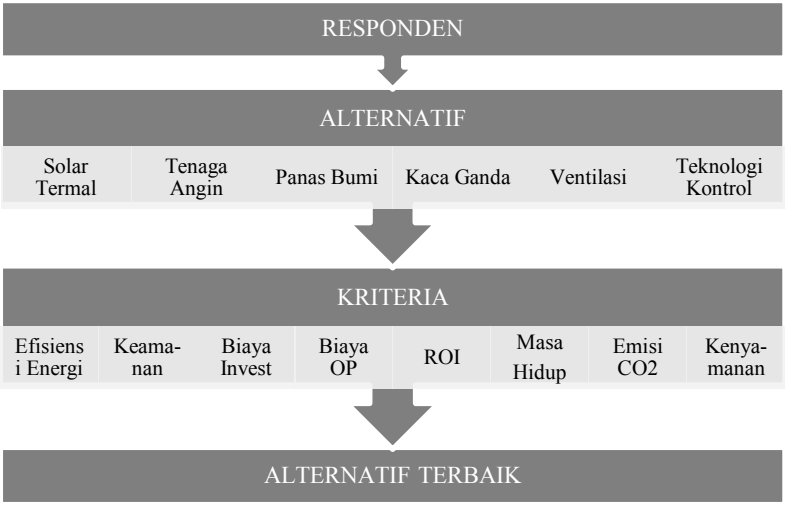
Dalam menentukan alternatif mana yang terbaik, perlu adanya pertimbangan-pertimbangan yang matang dari sejumlah pengambil keputusan. Pertimbangan ini selanjutnya disebut dengan kriteria, yang mempengaruhi pengambilan keputusan hotel X dalam renovasi bangunan. Masing-masing kriteria berdiri sendiri dan mempunyai bobot yang berbeda-beda pada alternatifnya. Berikut kriteria yang menjadi bahan pertimbangan pada penelitian ini:

1. Efisiensi energi (C01)
   Efisiensi energi menunjukkan potensi penurunan konsumsi energi Menurut Badan Energi Internasional, meningkatkan efisiensi energi di gedung-gedung, industri dan transportasi dapat mengurangi kebutuhan energi dunia pada tahun 2050 dengan sepertiga, dan akan membantu mengendalikan emisi global gas rumah kaca.
2. Keamanan (C02)
   Keamanan secara bahasa berarti keadaan bebas dari bahaya. Kriteria ini menunjukkan ketangguhan suatu alternatif dari resiko yang mungkin terjadi.
3. Keandalan (C03)
   Kriteria keandalan menunjukkan kemampuan suatu alternatif dalam melakukan fungsinya, serta mencapai tujuannya.
4. Biaya investasi (C04)
   Menggambarkan seluruh biaya yang dikeluarkan oleh investor dalam mengambil alternatif. Semakin kecil

angka yang dikeluarkan untuk investasi, maka semakin baik nilai kriteria biaya investasinya.

5. Biaya operasi dan pemeliharaan (C05)
   Biaya operasi adalah semua biaya yang diperlukan untuk menjalankan suatu alternatif secara optimal. Sedangkan biaya pemeliharaan adalah semua biaya yang diperlukan untuk menunjang terciptanya suatu kondisi optimal terhadap alternatif yang baik dan pencapaian efektifitas pemakaian dan tenaga yang ada.
6. Biaya konsumsi listrik (C06)
   Biaya yang dibayarkan atas penggunaan listrik pada hotel.
7. ROI (C07)
   ROI atau *Return of Investment* adalah rasio laba bersih terhadap biaya. ROI biasanya merupakan pengukuran yang paling penting bagi pengiklan karena pengukuran ini didasarkan pada sasaran iklan tertentu dan menunjukkan pengaruh yang nyata dari upaya periklanan terhadap bisnis Anda.
8. Masa hidup (*service life*) (C08)
   Masa hidup pada kriteria ini menunjukkan jangka waktu pemanfaatan suatu alternatif secara optimal.
9. Emisi CO_2 (C09)
   Upaya mengefisiensikan konsumsi energi kita adalah cara yang paling murah dan mudah untuk mengurangi emisi CO2. Efisiensi energi harus dipandang sebagai bagian penting dari usaha untuk mengurangi kebergantungan manusia kepada bahan bakar fosil.
10. Kenyamanan pelanggan (C10)
    Kenyamanan pelanggan menunjukkan keberhasilan dalam menciptakan kondisi aktifitas yang kondusif, kualitas huni yang baik, bebas dari gangguan, bebas dari rasa was-was bagi pelanggan. Faktor kepercayaan juga mempengaruhi kenyamanan pelangga.

Dari seluruh alternatif dan kriteria tersebut diatas, sistem hirarki kemudian dapat digambarkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.3. Struktur Hirarki Penelitian

4.2 Pengolahan Data Awal

Langkah selanjutnya pada penelitian ini adalah merekapitulasi dan mengolah data awal. Masing-masing pihak memberi bobot kepada tiap kriteria yang bertujuan untuk mengetahui prioritas kriteria mana yang dianggap lebih penting. Data pembobotan diperoleh dari hasil kuesioner yang dibagikan kepada pihak memiliki wewenang untuk mengambil keputusan dan mengerti tentang bangunan hotel. Responden kemudian mengisi bobot masing-masing kriteria dan tingkat kepentingan alternatif terhadap kriteria yang ada berdasarkan variabel linguistik yang telah ditentukan pada Tabel 3.1 dan 3.2. Hasil penilaian pada kuesioner bobot kriteria ditunjukkan pada Tabel 4.1. Selanjutnya hasil penilaian responden pada kepentingan alternatif terhadap kriteria ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Setelah rekap data kedua jenis kuisoner dilakukan, data berupa variabel linguistik tersebut dikonversi ke dalam bentuk bilangan fuzzy segitiga, ditunjukkan dalam Tabel 4.3 dan Tabel 4.4. (mengacu pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2).

Tabel 4.1 Data Responden pada Penilaian Kriteria

Kriteria	Responden 1	Responden 2	Responden 3
Efisiensi energi (C1)	SP	P	SP
Keamanan (C2)	P	CP	SP
Keandalan (C3)	P	CP	P
Biaya investasi (C4)	SS	SP	CP
Biaya operasi dan pemeliharaan (C5)	SS	P	SS
Biaya konsumsi listrik (C6)	P	SP	SS
ROI (C7)	SP	SP	P
Masa hidup (C8)	P	P	P
Emisi CO_2 (C9)	SS	CP	SP
Kenyamanan pelanggan (C10)	CP	SP	SP

Tabel 4.2 Data Responden pada Penilaian Tingkat Kepentingan Alternatif Terhadap Kriteria

Kriteria	Alternatif	Resp 1	Resp. 2	Resp. 3
C1	Solar termal	SB	SB	B
	Tenaga angin	SB	B	B
	Panas bumi	SB	B	B
	Kaca ganda	SB	SB	SB
	Ventilasi	B	CB	SB
	Sistem kontrol	SB	SB	SB

Tabel 4.2 (Lanjutan)

Kriteria	Alternatif	Resp 1	Resp. 2	Resp. 3
C2	Solar termal	B	B	SB
	Tenaga angin	CB	CB	B
	Panas bumi	CB	B	B
	Kaca ganda	SB	SB	SB
	Ventilasi	SB	B	SB
	Sistem kontrol	SB	SB	B
C3	Solar termal	B	B	SB
	Tenaga angin	B	B	B
	Panas bumi	B	B	B
	Kaca ganda	SB	B	SB
	Ventilasi	S	B	B
	Sistem kontrol	B	SB	B
C4	Solar termal	KB	KB	M
	Tenaga angin	KB	KB	KB
	Panas bumi	S	KB	KB
	Kaca ganda	S	CB	CB
	Ventilasi	S	B	S
	Sistem kontrol	CB	CB	CB
C5	Solar termal	SB	B	SB
	Tenaga angin	B	B	B
	Panas bumi	B	B	CB
	Kaca ganda	SB	SB	SB
	Ventilasi	SB	SB	SB
	Sistem kontrol	SB	B	B
C6	Solar termal	SB	B	SB
	Tenaga angin	CB	B	SB
	Panas bumi	CB	B	SB
	Kaca ganda	B	B	SB
	Ventilasi	S	B	CB
	Sistem kontrol	CB	SB	B

Tabel 4.2 (Lanjutan)

Kriteria	Alternatif	Resp 1	Resp. 2	Resp. 3
C7	Solar termal	KB	KB	CB
	Tenaga angin	KB	KB	CB
	Panas bumi	KB	KB	CB
	Kaca ganda	CB	CB	B
	Ventilasi	B	B	CB
	Sistem kontrol	B	CB	CB
C8	Solar termal	SB	SB	SB
	Tenaga angin	B	SB	SB
	Panas bumi	B	SB	SB
	Kaca ganda	SB	B	SB
	Ventilasi	SB	B	B
	Sistem kontrol	B	CB	B
C9	Solar termal	SB	B	SB
	Tenaga angin	CB	B	B
	Panas bumi	CB	B	SB
	Kaca ganda	SB	B	B
	Ventilasi	SB	B	B
	Sistem kontrol	B	B	SB
C10	Solar termal	SB	SB	SB
	Tenaga angin	B	B	B
	Panas bumi	B	B	SB
	Kaca ganda	SB	B	SB
	Ventilasi	SB	SB	SB
	Sistem kontrol	B	SB	B

Berdasarkan bilangan fuzzy segitiga yang telah ditetapkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2, data responden dikonversi ke dalam bentuk bilangan fuzzy, ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data Konversi Penilaian Kriteria ke ke Bilangan Fuzzy Segitiga

Kriteria	Responden 1	Responden 2	Responden 3
C1	(0,9; 1; 1)	(0,7; 0,9; 1)	(0,9; 1; 1)
C2	(0,7; 0,9; 1)	(0,5; 0,9; 1)	(0,9; 1; 1)
C3	(0,7; 0,9; 1)	(0,5; 0,9; 1)	(0,7; 0,9; 1)
C4	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,9; 1; 1)	(0,5; 0,9; 1)
C5	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,7; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)
C6	(0,7; 0,9; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)
C7	(0,9; 1; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,7; 0,9; 1)
C8	(0,7; 0,9; 1)	(0,7; 0,9; 1)	(0,7; 0,9; 1)
C9	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,5; 0,9; 1)	(0,9; 1; 1)
C10	(0,5; 0,9; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,9; 1; 1)

Setelah memiliki fungsi keanggotaannya, hasil penilaian dari ketiga responden diambil nilai rata-rata dan dijadikan acuan bobot tiap kriteria, ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 4.4 Bobot Kepentingan tiap Kriteria

Kriteria	Bobot Kriteria
C1	(0,83; 0,97; 1)
C2	(0,7; 0,93; 1)
C3	(0,63; 0,9; 1)
C4	(0,57; 0,8; 0,9)
C5	(0,43; 0,63; 0,8)
C6	(0,63; 0,8; 0,9)
C7	(0,83; 0,97; 1)
C8	(0,7; 0,9; 1)
C9	(0,57; 0,8; 0,9)
C10	(0,77; 0,97; 1)

Hasil penilaian keseluruhan kepentingan alternatif terhadap kriteria beserta konversi ke bilangan fuzzy segitiga dilampirkan pada Lampiran. Namun untuk memperjelas, berikut ditunjukkan sebagian data kepentingan alternatif terhadap sebagian kriteria pada Tabel 4.5. Data tersebut kemudian diubah menjadi bentuk matriks yang disebut matriks fuzzy keputusan, keseluruhannya digambarkan pada Lampiran untuk jelasnya.

Tabel 4.5. Keputusan Alternatif terhadap Sebagian Kriteria

	C1	C2	C3
A1	(8,33;9,67;10)	(7,67;9,33;10)	(7,67;9,33;10)
A2	(7,67;9,33;10)	(5,67;9;10)	(7;9;10)
A3	(7,67;9,33;10)	(6,33;9;10)	(7;9;10)
A4	(9;10;10)	(9;10;10)	(8,33;9,67;10)
A5	(7;9,33;10)	(8,33;9,67;10)	(5,67;7,67;9)
A6	(9;10;10)	(8,33;9,67;10)	(7,67;9,33;10)

Matriks fuzzy keputusan kemudian di normalisasi dengan rumus berikut

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(x_{ij}\right)^2}}$$

dengan i = 1,2,.....,10 ; j = 1,2,.....,6.

Normalisasi matriks fuzzy keputusan tersebut menghasilkan matriks keseluruhannya ditunjukkan pada Lampiran. Untuk memperjelas kembali maka dicuplik sebagian, tiga kriteria yang ditunjukkan pada Tabel 4.6 di halaman selanjutnya.

Selanjutnya, matriks fuzzy keputusan ternormalisasi diberikan bobot kepentingan kriteria sesuai dengan perhitungan. Dengan rumus $y_{ij} = w_i \cdot r_{ij}$, maka akan didapat matriks fuzzy keputusan ternormalisasi terbobot.

Tabel 4.6. Sebagian Matriks Fuzzy Keputusan Ternormalisasi

	C1	C2	C3
A1	(0,42;0,41;0,41)	(0,41;0,40;0,41)	(0,43;0,42;0,41)
A2	(0,38;0,40;0,41)	(0,30;0,39;0,41)	(0,39;0,41;0,41)
A3	(0,38;0,40;0,41)	(0,34;0,39;0,41)	(0,39;0,41;0,41)
A4	(0,45;0,42;0,41)	(0,48;0,43;0,41)	(0,47;0,44;0,41)
A5	(0,35;0,40;0,41)	(0,44;0,42;0,41)	(0,32;0,35;0,37)
A6	(0,45;0,42;0,41)	(0,44;0,42;0,41)	(0,43;0,42;0,41)

4.3 Analisis Ranking Alternatif

Tahap perangkingan diawali dengan mencari SIP dan SIN dari matriks fuzzy keputusan ternormalisasi terbobot. SIP (A^+) dan SIN (A^-) diperoleh dari

SIP $A^+ = (y_1^+, y_2^+, \ldots\ldots, y_n^+)$;

dengan y_j^+ adalah : - max y_{ij}, jika j adalah atribut keuntungan
- min y_{ij}, jika j adalah atribut biaya

SIN $A^- = (y_1^-, y_2^-, \ldots\ldots, y_n^-)$;

dengan y_j^- adalah : - min y_{ij}, jika j adalah atribut keuntungan
- max y_{ij}, jika j adalah atribut biaya

Mencari jarak solusi ideal positif dan solusi ideal negatif diketahui dari Tabel 4.6. Berikut SIP dan SIN yang diperoleh dari masing-masing kriteria, ditunjukkan pada Tabel 4.7. :

Tabel 4.7 Solusi Ideal Positif dan Solusi Ideal Negatif

Kriteria	A^+	A^-
C1	(0,38;0,41;0,41)	(0,29;0,38;0,41)
C2	(0,34;0,40;0,41)	(0,21;0,36;0,41)
C3	(0,30;0,39;0,41)	(0,20;0,31;0,37)
C4	(0,34;0,49;0,49)	(0,07;0,16;0,25)

C5	(0,20;0,27;0,33)	(0,14;0,24;0,33)
C6	(0,30;0,35;0,37)	(0,18;0,27;0,34)
C7	(0,48;0,49;0,48)	(0,18;0,27;0,32)
C8	(0,32;0,38;0,41)	(0,23;0,35;0,41)
C9	(0,26;0,34;0,37)	(0,20;0,31;0,37)
C10	(0,35;0,41;0,41)	(0,27;0,37;0,41)

Jarak tiap alternatif terhadap matriks SIP dan SINnya selanjutnya dicari menggunakan persamaan berikut. Jarak dengan SIP dinotasikan sebagai (D^+), sedangkan jarak dengan SIN, dengan i = 1,2,.....,10; j = 1,2,.....,6 adalah

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(y_i^+ - y_{ij}\right)^2}$$

Sedangkan jarak antara alternatif A_i dengan SIN dirumuskan sebagai berikut:

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(y_{ij} - y_i^-\right)^2}$$

dengan i = 1,2,.....10 ; j = 1,2,.....,6.

Tabel 4.8 Jarak Tiap Alternatif dengan SIP dan SIN

Alternatif	D+	D-
Solar Termal (A01)	0,342274	0,153846
Tenaga Angin (A02)	0,386598	0,089271
Panas Bumi (A03)	0,354662	0,100294
Jendela Kaca-Ganda (A04)	0,071152	0,348066
Ventilasi (A05)	0,166877	0,315120
Sistem Kontrol (A06)	0,086078	0,375062

Tabel 4.8 menunjukkan jarak masing-masing alternatif dengan SIP dan SINnya. Dari tabel tersebut ditunjukkan bahwa alternatif memiliki jarak 0,342274 dengan SIP dan berjarak 0,153846 dengan SINnya. Alternatif 2 memiliki jarak lebih jauh, dengan D+ sebesar 0,286598, serta lebih dekat dengan SIN dengan D- sebesar 0,089271. Alternatif 3 sedikit lebih jauh ke SIPnya dibandingkan dengan alternatif 1, yaitu D+ sebesar 0,354662, serta D- sebesar 0,100294. Kemudian, alternatif 4 tampak jauh lebih dekat ke SIP dengan D+ 0,071152 serta D- 0,348066. Alternatif 5 memiliki kedekatan D+ sebesar 0,166877 dengan SIP, serta berjarak 0,315120 dengan SINnya. Lalu, alternatif 6 memilik jarak 0,086078 dengan SIP dengan D- sebesar 0,375062.

Dapat ditunjukkan bahwa alternatif 4 memiliki jarak terdekat ke SIP dengan d+ terkecil yaitu 0,071152, serta alternatif 6 memiliki jarak terdekat kedua dengan nilai D+ 0,086078. Menyusul alternatif terdekat ketiga dengan SIPnya, yoitu alternatif 5 dengan nilai D+ 0,166877.

Sedangkan, alternatif 6 memiliki jarak paling jauh dari SIN dengan nilai D- terbesar, 0,375602. Alternatif 4 memiliki d- terbesar kedua dengan nilai 0,348066, serta alternatif 3 merupakan alternatif terjauh ketiga dari SIN dengan D- sebesar 0,3760632.

Selanjutnya, membandingkan kedekatan SIP dan jarak dengan SIN untuk tiap alternatif. Proses tersebut dilakukan dengan menentukan nilai preferensi untuk setiap alternatif dengan rumus sebagai berikut:

$$V_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+}$$

dengan i = 1,2,.....,10.

Tabel 4.9 Nilai Preferensi Tiap Alternatif

Alternatif	V
Solar Termal (A01)	**0,310099**
Tenaga Angin (A02)	**0,187595**
Panas Bumi (A03)	**0,220447**
Jendela Kaca-Ganda (A04)	**0,830274**
Ventilasi (A05)	**0,653780**
Sistem Kontrol (A06)	**0,813337**

Dari Tabel 4.9, alternatif 1 memiliki preferensi sebesar 0,310099. Selanjutnya alternatif 2 memiliki preferensi sebesar 0,187595. Alternatif 3 memiliki preferensi 0,220447. Alternatif 4 memiliki preferensi 0,830274. Alternatif 5 memiliki preferensi 0,653780. Serta alternatif 6 memiliki preferensi 0,813337.

Setelah nilai preferensi diperoleh, maka nilai preferensi tersebut diurutkan berdasarkan nilanya. Peringkat alternatif diurutkan berdasarkan nilai preferensi. Semakin besar nilai preferensi alternatif tersebut, maka semakin dekat jarak alternatif tersebut dengan SIPnya, serta semakin jauh dengan jarak ideal negatifnya (SIN).

Tabel 4.10 Urutan Nilai Preferensi

Alternatif	V
Jendela Kaca-Ganda (A04)	**0,830274**
Sistem Kontrol (A06)	**0,813337**
Ventilasi (A05)	**0,653780**
Solar Termal (A01)	**0,310099**
Panas Bumi (A03)	**0,220447**
Tenaga Angin (A02)	**0,187595**

Dari Tabel 4.10, ditunjukkan bahwa alternatif 4, penggunaan jendela berbahan kaca-ganda merupakan alternatif terbaik dengan nilai preferensi V terbesar, yaitu 0,830274. Selanjutnya, alternatif terbaik kedua ditunjukkan oleh alternatif 6, pemanfaatan sistem kontrol, dengan V sebesar 0,813337. Di urutan ketiga, didapat alternatif perubahan ventilasi façade / atap dengan nilai preferensi yang cukup berbeda dengan dua alternatif sebelumnya, yaitu 0,653780. Lalu, alternatif urutan ke empat didapat oleh alternatif pemanfaatan solar termal dengan V 0,310099. Di urutan kelima adalah alternatif 3, yaitu pemanfaatan panas bumi dengan nilai preferensi 0,220447. Alternatif urutan terakhir ditunjukkan oleh alternatif penggunaan tenaga angin, dengan nilai preferensi paling kecil, yaitu 0,187595.

Hasil penelitian ini diharapkan mampu mendukung proses pengambilan keputusan yang dilakukan baik oleh pihak hotel bagian *engineering,* manajemen, maupun pihak ahli lingkungan.

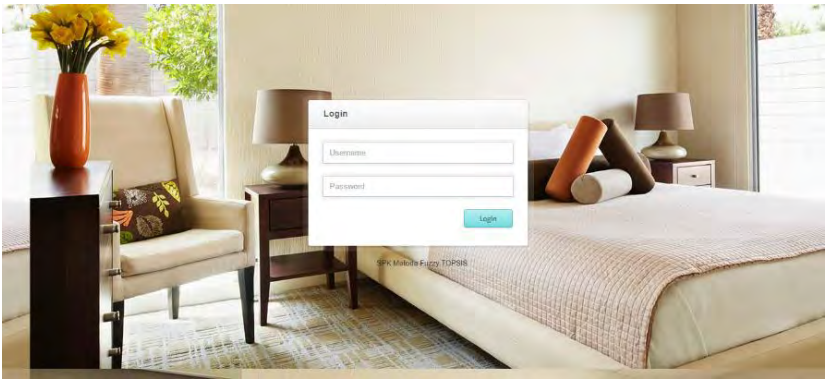
4.4 Simulasi Pengujian

Pengujian penelitian ini menggunakan PHP MySQL dengan spesifikasi XAMPP 1.7.3. Berikut fitur yang terdapat pada simulasi pengujian penelitian ini:

1. Login
   Saat login, pengguna diminta mengisi username dan password. *Warning* muncul saat pengguna salah memasukkan username atau password, kemudian kembali halaman login, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4

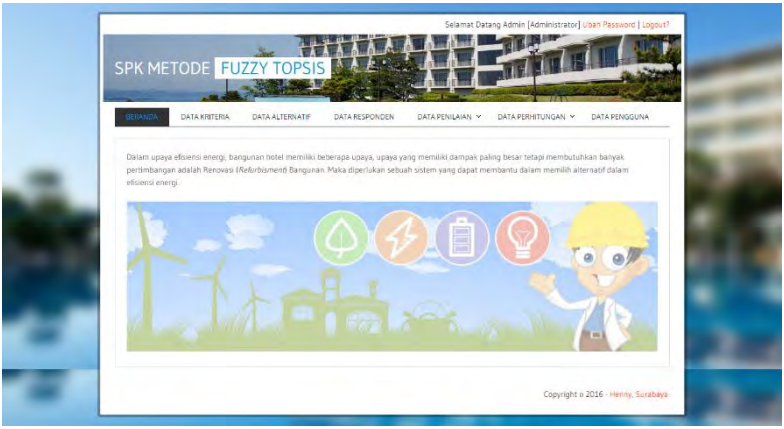
Tabel 4.9 Source Code Login

```
$query="SELECT id_pengguna, username, tipe FROM ft_pengguna WHERE username='$username' AND password='$password'";
```



Gambar 4.4 Tampilan Login

2. Beranda
   Gambar 4.5 menunjukkan tampilan awal simulasi ini. Pengguna mampu mengakses tab Data Kriteria, Data Alternatif, Data Responden, Data Penilaian, Data Perhitungan, Data Pengguna, Ubah Password, maupun Log Out.

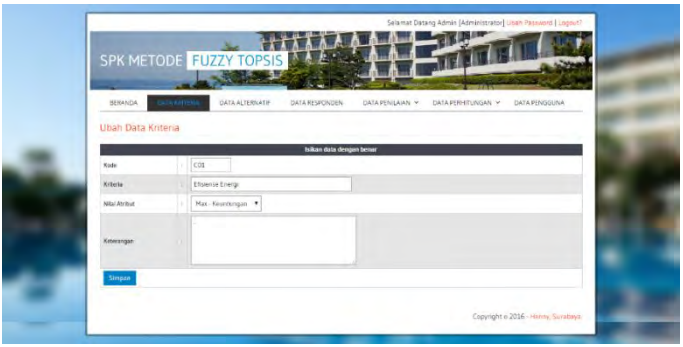


Gambar 4.5 Tampilan Awal (Home)

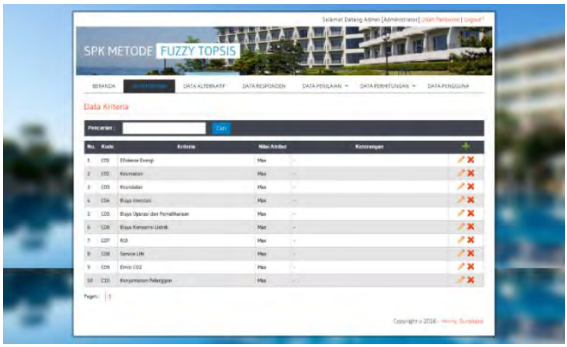
3. Data Kriteria
   Pengguna mengubah, menambahkan, maupun mengurangi kumpulan kriteria yang menjadi variabel pada penelitian. Form terdiri dari kode kriteria (maxlength 5), kriteria (maxlength 50), nilai atribut yang berupa max – keuntungan dan min – biaya, serta keterangan.

Tabel 4.10 Source Code Input Data Kriteria

```
 <?php
$status=antiinjec(@$_GET['act']);
if ($status=="edit") { $id=antiinjec(@$_REQUEST['id']); }
if ($status=="tambah") { $id=0; }
	$query="select id_kriteria, kode, kriteria, implikasi, keterangan from ft_kriteria where id_kriteria='$id'" ;
	$hquery=querydb($query);
	$dataquery=mysql_fetch_array($hquery);
?>
<h3><?php if($status=="edit") { echo "Ubah"; } elseif ($status=="tambah") { echo "Tambah"; } ?> Data Kriteria</h3>
<select name="atribut">
	<option value="Max" <?php if($dataquery['implikasi']=="Max") { echo "selected"; } ?>>Max - Keuntungan</option>
	<option value="Min" <?php if($dataquery['implikasi']=="Min") { echo "selected"; } ?>>Min - Biaya</option>
  </select>
 </td> </tr>
```



Gambar 4.6 Tampilan Form Input Kriteria



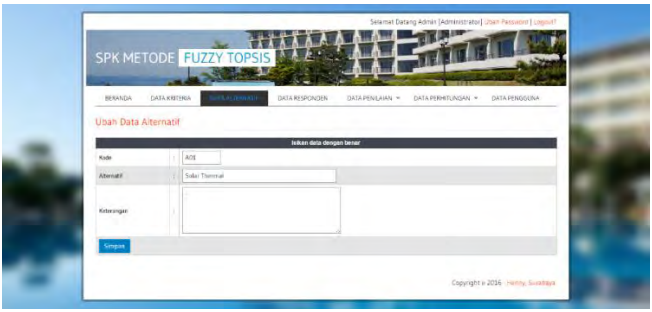
Gambar 4.7 Tampilan Data Kriteria

4. Data Alternatif

Merupakan kumpulan alternatif yang menjadi variabel pada penelitian. Mirip dengan data kriteria, pengguna mampu mengubah, menambahkan, maupun mengurangi variabel alternatif. Form terdiri dari kode, alternatif serta keterangan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8.

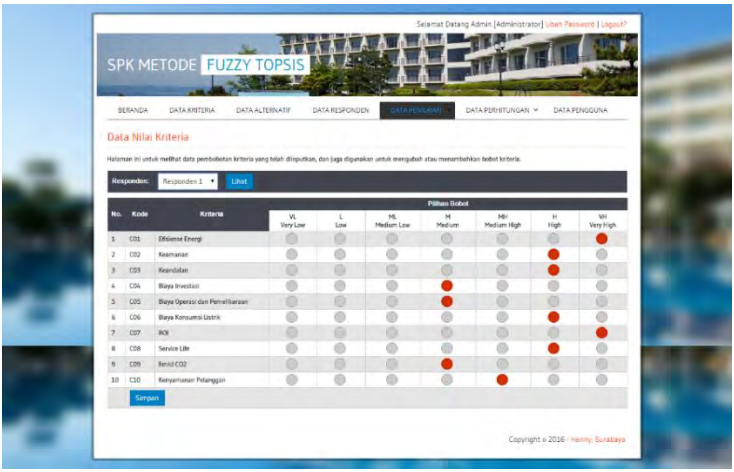
Tabel 4.11 Source Code Input Data Alternatif

```
if ($status=="tambah") { $id=0; }
    $query="select id_alternatif, kode, alternatif, keterangan from
ft_alternatif where id_alternatif='$id'" ;
    $hquery=querydb($query);
    $dataquery=mysql_fetch_array($hquery); ?>
```

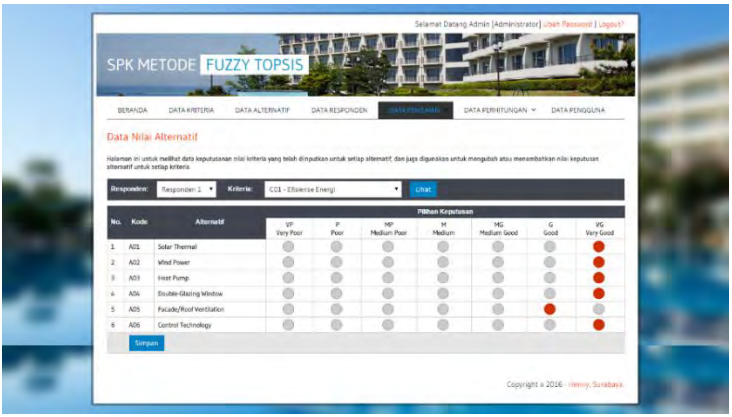


Gambar 4.8 Tampilan Form Input Alternatif

5. Penilaian Kepentingan Kriteria
   Pengguna mengisi penilaian kepentingan kriteria pada form, ditunjukkan pada Gambar 4.9. Selanjutnya pengguna mengisi penilaian alternatif terhadap kriteria seperti ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.9 Tampilan Input Penilaian Kepentingan Kriteria



Gambar 4.10 Tampilan Data Input Nilai Penilaian Alternatif

6. Data Perhitungan Kriteria

Pengguna akan melihat isian nilai yang sudah diinput. Berikut source codenya:

Tabel 4.12 Source Code Menampilkan Input Data Kriteria

```
//Ambil Nilai yang sudah disimpan (lalu tampilkan)
$qn="SELECT id_nilai_kriteria, bobot, t1, t2, t3 FROM
ft_nilai_kriteria WHERE id_responden='$db2[id_responden]'
and id_kriteria='$dquery_dinilai[id_kriteria]'";
 $hn=querydb($qn);
 $dn=mysql_fetch_array($hn);
 for($i=1; $i<=3; $i++) {
 ?>
```

Pengguna melihat hasil perhitungan fuzzy bobot yang diperoleh dengan mengambil rata-rata penilaian dari tiga responden.

Tabel 4.13 Source Code Perhitungan Fuzzy Bobot

```
//Mulai Hitung Fuzzy Bobot
$query_dinilai="SELECT id_kriteria, kode, kriteria FROM
ft_kriteria ORDER BY id_kriteria ASC";
$hquery_dinilai=querydb($query_dinilai);
while ($dquery_dinilai=mysql_fetch_array($hquery_dinilai)){
//Jumlah Responden
    $q_res="SELECT COUNT(*) FROM ft_responden ORDER
BY id_responden ASC";
    $h_res=querydb($q_res);
    $d_res=mysql_fetch_array($h_res);
//Jumlah Nilai
    $q_nilai_a=mysql_fetch_array(querydb("SELECT SUM(t1) as
jumlah_a FROM ft_nilai_kriteria WHERE
id_kriteria='$dquery_dinilai[id_kriteria]'"));
    $q_nilai_b=mysql_fetch_array(querydb("SELECT SUM(t2) as
jumlah_b FROM ft_nilai_kriteria WHERE
id_kriteria='$dquery_dinilai[id_kriteria]'"));
```

```
    $q_nilai_c=mysql_fetch_array(querydb("SELECT SUM(t3) as
jumlah_c FROM ft_nilai_kriteria WHERE
id_kriteria='$dquery_dinilai[id_kriteria]'"));
//Rata-rata
$rata_a=$q_nilai_a['jumlah_a']/$d_res[0];
    $rata_b=$q_nilai_b['jumlah_b']/$d_res[0];
    $rata_c=$q_nilai_c['jumlah_c']/$d_res[0];
```

Nilai Triangular Fuzzy Number

No.	Kode	Kriteria	Triangular Fuzzy Number								
			Responden 1			Responden 2			Responden 3		
1	C01	Efisiensi Energi	0.9	1	1	0.7	0.9	1	0.9	1	1
2	C02	Keamanan	0.7	0.9	1	0.5	0.9	1	0.9	1	1
3	C03	Keandalan	0.7	0.9	1	0.5	0.9	1	0.7	0.9	1
4	C04	Biaya Investasi	0.3	0.5	0.7	0.9	1	1	0.5	0.9	1
5	C05	Biaya Operasi dan Pemeliharaan	0.3	0.5	0.7	0.7	0.9	1	0.3	0.5	0.7
6	C06	Biaya Konsumsi Listrik	0.7	0.9	1	0.9	1	1	0.3	0.5	0.7
7	C07	ROI	0.9	1	1	0.9	1	1	0.7	0.9	1
8	C08	Masa Hidup	0.7	0.9	1	0.7	0.9	1	0.7	0.9	1
9	C09	Emisi CO2	0.3	0.5	0.7	0.5	0.9	1	0.9	1	1
10	C10	Kenyamanan Pelanggan	0.5	0.9	1	0.9	1	1	0.9	1	1

Fuzzy Bobot Kriteria

No.	Kode	Kriteria	Fuzzy Bobot		
			a	b	c
1	C01	Efisiensi Energi	0,8333	0,9667	1,0000
2	C02	Keamanan	0,7000	0,9333	1,0000
3	C03	Keandalan	0,6333	0,9000	1,0000
4	C04	Biaya Investasi	0,5667	0,8000	0,9000
5	C05	Biaya Operasi dan Pemeliharaan	0,6333	0,8333	0,8000
6	C06	Biaya Konsumsi Listrik	0,6333	0,8000	0,9000
7	C07	ROI	0,8333	0,9667	1,0000
8	C08	Masa Hidup	0,7000	0,9000	1,0000

Gambar 4.11 Tampilan Perhitungan Bobot Kriteria

Tabel bagian atas pada Gambar 4.11 menunjukkan hasil konversi penilaian responden dari variabel linguistik ke bentuk bilangan fuzzy segitiga. Selanjutnya, pada Gambar 4.11 di tabel bagian bawah menunjukkan hasil perhitungan bobot kriteria pertimbangan renovasi dalam bentuk bilangan fuzzy segitiga.

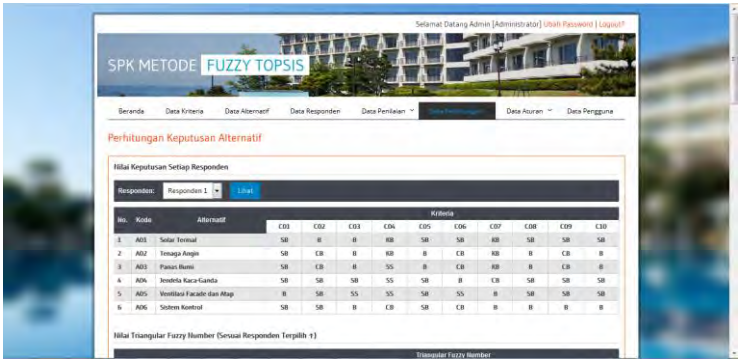
7. Perhitungan Alternatif

Pengguna melihat isian penilaian alternatif yang sudah diinput. Berikut source code menampilkan nilai alternatif:

Tabel 4.14 Tampilan Nilai Alternatif

```
//Ambil Nilai yang sudah disimpan (lalu tampilkan)
            $qn="SELECT id_nilai_alternatif, keputusan FROM
ft_nilai_alternatif WHERE id_responden='$responden' and
```

```
id_kriteria='$db2[id_kriteria]'                                    AND
id_alternatif='$dquery_dinilai[id_alternatif]'";
                $hn=querydb($qn);
                $dn=mysql_fetch_array($hn);
                ?>
```



Gambar 4.12 Tampilan Perhitungan Alternatif (Rekap Data)

Gambar 4.12 menunjukkan hasil rekap data penilaian responden secara linguistik terhadap alternatif. Setelah itu, data pada nilai alternatif dinormalisasi dengan *source code* sebagai berikut:

Tabel 4.15 *Source Code* Perhitungan Matriks Normalisasi

```
//Mulai Normalisasi Matriks
$q_krit="SELECT id_kriteria, kode, kriteria FROM ft_kriteria
ORDER BY id_kriteria ASC";
$h_krit=querydb($q_krit);
while($d_krit=mysql_fetch_array($h_krit)){
   $np_a=0; $np_b=0; $np_c=0;
   $np_total_a=0; $np_total_b=0; $np_total_c=0;
```

```
$q_pembagi="SELECT id_nilai_alternatif_hasil, id_alternatif,
id_kriteria, n_a, n_b, n_c FROM ft_nilai_alternatif_hasil WHERE
id_kriteria='$d_krit[id_kriteria]'";
        $h_pembagi=querydb($q_pembagi);
        while($d_pembagi=mysql_fetch_array($h_pembagi)) {
//Jumlah dan pangkatkan 2 nilai untuk setiap kriteria (setiap alternatif)
//pow=pangkat - pow(bilangan, pangkat)
                $np_a=pow($d_pembagi['n_a'], 2);
                $np_b=pow($d_pembagi['n_b'], 2);
                $np_c=pow($d_pembagi['n_c'], 2);
                $np_total_a=$np_total_a+$np_a;
                $np_total_b=$np_total_b+$np_b;
                $np_total_c=$np_total_c+$np_c;
        }
//sqrt=akar 2 atau akar kuadrat - sqrt(4)=2
        $x_akar_a=sqrt($np_total_a);
        $x_akar_b=sqrt($np_total_b);
        $x_akar_c=sqrt($np_total_c);
//Hitung nilai Normalisasi
        if($x_akar_a==0 || $x_akar_a==="") { $x_akar_a=1; }
        if($x_akar_b==0 || $x_akar_b==="") { $x_akar_b=1; }
        if($x_akar_c==0 || $x_akar_c==="") { $x_akar_c=1; }

        $q_dibagi="SELECT id_nilai_alternatif_hasil, id_alternatif,
id_kriteria, n_a, n_b, n_c FROM ft_nilai_alternatif_hasil WHERE
id_kriteria='$d_krit[id_kriteria]'";
        $h_dibagi=querydb($q_dibagi);
        while($d_dibagi=mysql_fetch_array($h_dibagi)) {
//Nilai Normalisasi
                $R_a=$d_dibagi['n_a']/$x_akar_a;
$R_b=$d_dibagi['n_b']/$x_akar_b;
$R_c=$d_dibagi['n_c']/$x_akar_c;
//Simpan hasil normalisasi
```

```
        $d_cek=mysql_fetch_array(querydb("SELECT COUNT(*)
FROM ft_nilai_alternatif_hasil_normal WHERE
id_alternatif='$d_dibagi[id_alternatif]' AND
id_kriteria='$d_krit[id_kriteria]'"));
        if($d_cek[0]==0) {
        querydb("INSERT INTO ft_nilai_alternatif_hasil_normal
(id_alternatif, id_kriteria, n_a, n_b, n_c)
 VALUES ('$d_dibagi[id_alternatif]', '$d_krit[id_kriteria]', '$R_a',
'$R_b', '$R_c')");
        } else {
                querydb("UPDATE ft_nilai_alternatif_hasil_normal
SET n_a='$R_a', n_b='$R_b', n_c='$R_c'
                 WHERE id_alternatif='$d_dibagi[id_alternatif]' AND
id_kriteria='$d_krit[id_kriteria]'");
                }
        }}
```

Berikut mencari matriks ternormalisasi terbobot:

Tabel 4.16 Source Code Matriks Ternormalisasi Terbobot

```
//Mulai Normalisasi Matriks
$q_krit="SELECT id_kriteria, kode, kriteria FROM ft_kriteria ORDER
BY id_kriteria ASC";
$h_krit=querydb($q_krit);
while($d_krit=mysql_fetch_array($h_krit)){
$q_dibagi="SELECT id_nilai_alternatif_hasil_normal, id_alternatif,
id_kriteria, n_a, n_b, n_c FROM ft_nilai_alternatif_hasil_normal
WHERE id_kriteria='$d_krit[id_kriteria]'";
        $h_dibagi=querydb($q_dibagi);
        while($d_dibagi=mysql_fetch_array($h_dibagi)) {
//Ambil Bobot
        $q_bobot="SELECT id_nilai_kriteria_hasil,
id_kriteria, n_a, n_b, n_c FROM ft_nilai_kriteria_hasil WHERE
id_kriteria='$d_krit[id_kriteria]'";
        $h_bobot=querydb($q_bobot);
```

```
                $d_bobot=mysql_fetch_array($h_bobot);
//Hitung Normalisasi * bobot
                $nbobot_a=$d_dibagi['n_a']*$d_bobot['n_a'];
                $nbobot_b=$d_dibagi['n_b']*$d_bobot['n_b'];
                $nbobot_c=$d_dibagi['n_c']*$d_bobot['n_c'];
//Simpan hasil normalisasi terbobot
                $d_cek=mysql_fetch_array(querydb("SELECT
COUNT(*) FROM ft_nilai_alternatif_hasil_terbobot WHERE
id_alternatif='$d_dibagi[id_alternatif]' AND
id_kriteria='$d_krit[id_kriteria]'"));
                if($d_cek[0]==0) {
    querydb("INSERT INTO ft_nilai_alternatif_hasil_terbobot
(id_alternatif, id_kriteria, n_a, n_b, n_c)
                 VALUES ('$d_dibagi[id_alternatif]',
'$d_krit[id_kriteria]', '$nbobot_a', '$nbobot_b', '$nbobot_c')");
                } else {
                querydb("UPDATE ft_nilai_alternatif_hasil_terbobot
SET n_a='$nbobot_a', n_b='$nbobot_b', n_c='$nbobot_c'
                                        WHERE
id_alternatif='$d_dibagi[id_alternatif]' AND
id_kriteria='$d_krit[id_kriteria]'");                    }          }}
```

Matriks Keputusan Ternormalisasi

No.	Kode	Alternatif	C01			C02			C03			C04			C05			
1	A01	Solar Termal	0,618	0,610	0,608	0,609	0,601	0,608	0,431	0,422	0,415	0,200	0,250	0,310	0,628	0,615	0,608	0,6
2	A02	Tenaga Angin	0,384	0,396	0,408	0,303	0,389	0,408	0,391	0,407	0,415	0,120	0,204	0,273	0,359	0,386	0,408	0,4
3	A03	Panas Bumi	0,384	0,396	0,408	0,338	0,389	0,408	0,393	0,607	0,415	0,200	0,250	0,310	0,325	0,386	0,408	0,4
4	A04	Jendela Kaca-Ganda	0,451	0,425	0,408	0,480	0,432	0,408	0,468	0,437	0,415	0,521	0,522	0,492	0,462	0,429	0,408	0,4
5	A05	Ventilasi Facade dan Atap	0,351	0,396	0,408	0,465	0,438	0,408	0,318	0,367	0,373	0,521	0,431	0,438	0,462	0,429	0,408	0,2
6	A06	Sistem Kontrol	0,451	0,425	0,408	0,465	0,438	0,408	0,431	0,422	0,415	0,601	0,613	0,547	0,396	0,401	0,408	0,4

Matriks Keputusan Ternormalisasi Terbobot

No.	Kode	Alternatif	C01			C02			C03			C04			C05			
1	A01	Solar Termal	0,348	0,397	0,408	0,286	0,376	0,408	0,273	0,380	0,415	0,114	0,200	0,279	0,185	0,263	0,327	0,3
2	A02	Tenaga Angin	0,320	0,383	0,408	0,212	0,363	0,408	0,249	0,367	0,415	0,068	0,163	0,246	0,156	0,245	0,327	0,2
3	A03	Panas Bumi	0,320	0,383	0,408	0,237	0,363	0,408	0,249	0,367	0,415	0,114	0,200	0,279	0,161	0,245	0,327	0,2
4	A04	Jendela Kaca-Ganda	0,376	0,410	0,408	0,336	0,403	0,408	0,296	0,394	0,415	0,295	0,418	0,443	0,200	0,272	0,327	0,2
5	A05	Ventilasi Facade dan Atap	0,292	0,383	0,408	0,331	0,390	0,408	0,202	0,332	0,373	0,295	0,365	0,396	0,200	0,272	0,327	0,1
6	A06	Sistem Kontrol	0,376	0,410	0,408	0,331	0,390	0,408	0,273	0,380	0,415	0,361	0,490	0,492	0,171	0,254	0,327	0,2

Gambar 4.13 Tampilan Matriks Keputusan Ternormalisasi dan Terbobot

Gambar 4.13 menunjukkan hasil perhitungan matriks normalisasi serta matriks normalisasi terbobot. Selanjutnya, menghitung Solusi Ideal Positif dan Solusi Ideal Negatifnya. *Source code* penghitungan SIP dan SIN ditunjukkan pada Tabel 4.17.

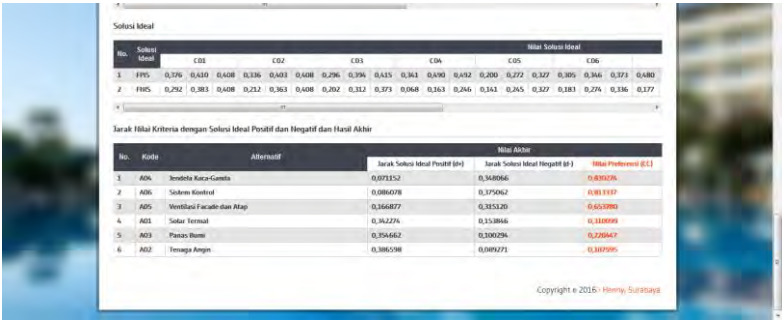
Tabel 4.17 Source Code SIP dan SIN

```
//Simpan hasil SIP dan SIN
 $d_cek=mysql_fetch_array(querydb("SELECT COUNT(*)
FROM ft_nilai_alternatif_hasil_solusi_ideal WHERE
id_kriteria='$d_krit[id_kriteria]'"));
 if($d_cek[0]==0) {
            querydb("INSERT INTO
ft_nilai_alternatif_hasil_solusi_ideal (id_kriteria, n_a, n_b, n_c,
n_a_min, n_b_min, n_c_min)
                                VALUES ('$d_krit[id_kriteria]',
'$d_dibagi[max_a]', '$d_dibagi[max_b]', '$d_dibagi[max_c]',
'$d_dibagi[min_a]', '$d_dibagi[min_b]', '$d_dibagi[min_c]')");
 } else {
            querydb("UPDATE
ft_nilai_alternatif_hasil_solusi_ideal
                                SET n_a='$d_dibagi[max_a]',
n_b='$d_dibagi[max_b]', n_c='$d_dibagi[max_c]',
n_a_min='$d_dibagi[min_a]', n_b_min='$d_dibagi[min_b]',
n_c_min='$d_dibagi[min_c]'
 WHERE id_kriteria='$d_krit[id_kriteria]'");}
}
```

Gambar 4.14 metunjukkan hasil SIP dan SIN dari masing-masing alternatif. Selain itu pada gambar tersebut juga ditunjukkan hasil perhitungan jarak masing-masing alternatif dengan Solusi Ideal serta nilai preferensinya.

Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.14 telah diurutkan berdasarkan nilai preferensinya, sehingga alternatif yang muncul paling atas adalah alternatif terbaik dengan nilai preferensi paling tinggi. Ditunjukkan bahwa alternatif 4

(penggunaan jendela kaca-ganda) merupakan alternatif terbaik pada kasus ini, dengan nilai preferensi 0,830274. Alternatif terbaik kedua ditunjukkan oleh alternatif 6 (sistem kontrol). Alternatif selanjutnya secara berurutan meliputi alternatif 5 (perubahan ventilasi atap / façade), alternatif 1 (penggunaan solar termal), alternatif 3 (pemanfaatan panas bumi), serta alternatif 2 (penggunaan tenaga angin).



Solusi Ideal

No.	Solusi Ideal	Nilai Solusi Ideal															
		C01			C02			C03			C04			C05			C06
1	FN5	0,376	0,610	0,408	0,336	0,403	0,408	0,296	0,394	0,415	0,361	0,490	0,492	0,200	0,272	0,327	0,305	0,346	0,373	0,480
2	FN5	0,292	0,383	0,408	0,212	0,363	0,408	0,202	0,312	0,373	0,068	0,163	0,246	0,141	0,245	0,327	0,183	0,274	0,336	0,177

Jarak Nilai Kriteria dengan Solusi Ideal Positif dan Negatif dan Hasil Akhir

No.	Kode	Alternatif	Nilai Akhir		
			Jarak Solusi Ideal Positif (d+)	Jarak Solusi Ideal Negatif (d-)	Nilai Preferensi (Ci)
1	A04	Jendela Kaca-Ganda	0,071152	0,348066	0,830274
2	A06	Sistem Kontrol	0,086078	0,375062	0,811137
3	A05	Ventilasi Facade dan Atap	0,166877	0,335120	0,653980
4	A01	Solar Termal	0,342274	0,153846	0,310099
5	A03	Panas Bumi	0,354662	0,100294	0,220647
6	A02	Tenaga Angin	0,386598	0,049271	0,107595

Copyright © 2016 - Henny, Suratsaya

Gambar 4.14 Tampilan Hasil SIP, SIN, serta Preferensi Alternatif

BAB V

PENUTUP

Bab ini berisi tentang beberapa kesimpulan yang dihasilkan berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan. Di samping itu, pada bab ini juga dimasukkan beberapa saran yang dapat digunakan apabila penelitian ini dikembangkan.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan seluruh proses dan analisis yang telah dijelaskan pada Bab IV, maka dapat diambil kesimpulan seperti berikut:

1. Penelitian telah berhasil menerapkan metode fuzzy TOPSIS dalam permasalahan pengambilan keputusan renovasi Hotel X dengan konsep *green* building. Pemilihan alternatif terbaik pada bangunan hotel X dapat dilakukan dengan metode fuzzy TOPSIS dengan tahapan meliputi: representasi masalah, evaluasi himpunan fuzzy dan seleksi alternatif terbaik .
2. Kriteria dan alternatif renovasi bangunan hotel ditentukan berdasarkan hasil diskusi dengan pengambil keputusan (responden). Dari hasil diskusi dengan ahli, diperoleh alternatif berupa penggunaan solar termal, tenaga angin, panas bumi, pemasangan kaca-ganda ventilasi façade dan atap, sistem kontrol. Alternatif tersebut kemudian dipertimbangkan berdasarkan kriteria-kriteria yang meliputi: efisiensi energi, keamanan, keandalan, biaya investasi, biaya operasi dan pemeliharaan, biaya konsumsi listrik, ROI, masa hidup, emisi CO_2, kenyamanan pelanggan.
3. Urutan alternatif (perangkingan) berhasil ditentukan menggunakan metode TOPSIS dengan membandingkan jarak antar alternatif dengan solusi ideal positif (SIP) dan solusi ideal negatifnya (SIN). Diperoleh alternatif terbaik pada renovasi bangunan hotel X ini adalah penggantian jendela dengan kaca-ganda. dengan nilai preferensi V

terbesar, yaitu 0,830274. Di urutan kedua, alternatif terbaik ditunjukkan oleh alternatif 6 (sistem kontrol). Selanjutnya, alternatif ajuan secara berurutan meliputi alternatif 5 (perubahan ventilasi atap / façade), alternatif 1 (penggunaan solar termal), alternatif 3 (pemanfaatan panas bumi), serta alternatif 2 (penggunaan tenaga angin).

5.2 Saran

Dengan melihat hasil yang dicapai pada penelitian ini, ada beberapa hal yang penulis sarankan untuk pengembangan selanjutnya, yaitu:

1. Disarankan adanya analisis dari penggunaan bangunan lain, baik hunian, industri, atau lainnya, yang sangat membutuhkan penghematan energi pada penelitian selanjutnya.
2. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan penerapan matematika dengan konsep lain dalam upaya efisiensi energi.

LAMPIRAN

Lampiran 1: Data Penilaian Kriteria

No.	Kode	Kriteria	Penilaian Kriteria		
			Responden 1	Responden 2	Responden 3
1	C1	Efisiensi Energi	SP	P	SP
2	C2	Keamanan	P	CP	SP
3	C3	Keandalan	P	CP	P
4	C4	Biaya Investasi	S	SP	CP
5	C5	Biaya Operasi dan Pemeliharaan	S	P	S
6	C6	Biaya Konsumsi Listrik	P	SP	S
7	C7	ROI	SP	SP	P
8	C8	Masa Hidup	P	P	P
9	C9	Emisi CO2	S	CP	SP
10	C10	Kenyamanan Pelanggan	CP	SP	SP

Lampiran 2: Konversi Penilaian Kriteria ke Bilangan Fuzzy Segitiga

No.	Kriteria	Penilaian Kriteria								
		Responden 1			Responden 2			Responden 3		
1	C01	0.9	1	1	0.7	0.9	1	0.9	1	1
2	C02	0.7	0.9	1	0.5	0.9	1	0.9	1	1
3	C03	0.7	0.9	1	0.5	0.9	1	0.7	0.9	1
4	C04	0.3	0.5	0.7	0.9	1	1	0.5	0.9	1
5	C05	0.3	0.5	0.7	0.7	0.9	1	0.3	0.5	0.7
6	C06	0.7	0.9	1	0.9	1	1	0.3	0.5	0.7
7	C07	0.9	1	1	0.9	1	1	0.7	0.9	1
8	C08	0.7	0.9	1	0.7	0.9	1	0.7	0.9	1
9	C09	0.3	0.5	0.7	0.5	0.9	1	0.9	1	1
10	C10	0.5	0.9	1	0.9	1	1	0.9	1	1

Lampiran 3 : Bobot Kriteria

Kode	Kriteria	Bobot		
C01	Efisiensi Energi	0,8333	0,9667	10,000
C02	Keamanan	0,7000	0,9333	10,000
C03	Keandalan	0,6333	0,9000	10,000
C04	Biaya Investasi	0,5667	0,8000	0,9000
C05	Biaya Operasi dan Pemeliharaan	0,4333	0,6333	0,8000
C06	Biaya Konsumsi Listrik	0,6333	0,8000	0,9000
C07	ROI	0,8333	0,9667	10,000
C08	Masa Hidup	0,7000	0,9000	10,000
C09	Emisi CO2	0,5667	0,8000	0,9000
C10	Kenyamanan Pelanggan	0,7667	0,9667	10,000

Lampiran 4: Penilaian Responden 1 pada Alternatif Terhadap Kriteria

No.	Kode	Alternatif	Kriteria									
			C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10
1	A01	Solar Termal	SB	B	B	KB	SB	SB	KB	SB	SB	SB
2	A02	Tenaga Angin	SB	CB	B	KB	B	CB	KB	B	CB	B
3	A03	Panas Bumi	SB	CB	B	SS	B	CB	KB	B	CB	B
4	A04	Jendela Kaca-Ganda	SB	SB	SB	SS	SB	B	CB	SB	SB	SB
5	A05	Ventilasi Facade dan Atap	B	SB	SS	SS	SB	SS	B	SB	SB	SB
6	A06	Sistem Kontrol	SB	SB	B	CB	SB	CB	B	B	B	B

Lampiran 5: Penilaian Responden 2 pada Alternatif Terhadap Kriteria

No.	Kode	Alternatif	Kriteria									
			C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10
1	A01	Solar Termal	SB	B	B	KB	B	B	KB	SB	B	SB
2	A02	Tenaga Angin	B	CB	B	KB	B	B	KB	SB	B	B
3	A03	Panas Bumi	B	B	B	KB	B	B	KB	SB	B	B
4	A04	Jendela Kaca-Ganda	SB	SB	B	CB	SB	B	CB	B	B	B
5	A05	Ventilasi Facade dan Atap	CB	B	B	B	SB	B	B	B	B	SB
6	A06	Sistem Kontrol	SB	SB	SB	CB	B	SB	CB	B	B	SB

Lampiran 6: Penilaian Responden 3 pada Alternatif Terhadap Kriteria

No.	Kode	Alternatif	Kriteria									
			C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10
1	A01	Solar Termal	B	SB	SB	SS	SB	SB	CB	SB	SB	SB
2	A02	Tenaga Angin	B	B	B	KB	B	SB	CB	SB	B	B
3	A03	Panas Bumi	B	B	B	KB	CB	SB	CB	SB	SB	SB
4	A04	Jendela Kaca-Ganda	SB	SB	SB	CB	SB	SB	B	SB	B	SB
5	A05	Ventilasi Facade dan Atap	SB	SB	B	SS	SB	CB	CB	B	B	SB
6	A06	Sistem Kontrol	SB	B	B	CB	B	B	CB	B	SB	B

Lampiran 7 : Matriks Fuzzy Keputusan

	C1	C2	C3	C4	C5
A1	(8,33;9,67;10)	(7,67;9,33;10)	(7,67;9,33;10)	(1,67;3,67;5,67)	(8,33;9,67;10)
A2	(7,67;9,33;10)	(5,67;9;10)	(7;9;10)	(1;3;5)	(7;9;10)
A3	(7,67;9,33;10)	(6,33;9;10)	(7;9;10)	(1,67;3,67;5,67)	(6,33;9;10)
A4	(9;10;10)	(9;10;10)	(8,33;9,67;10)	(4,33;7,67;9)	(9;10;10)
A5	(7;9,33;10)	(8,33;9,67;10)	(5,67;7,67;9)	(4,33;6,33;8)	(9;10;10)
A6	(9;10;10)	(8,33;9,67;10)	(7,67;9,33;10)	(5;9;10)	(7,67;9,33;10)

	C6	C7	C8	C9	C10
A1	(8,33;9,67;10)	(2,33;5;6,67)	(9;10;10)	(8,33;9,67;10)	(9;10;10)
A2	(7;9,33;10)	(2,33;5;6,67)	(8,33;9,67;10)	(6,33;9;10)	(7;9;10)
A3	(7;9,33;10)	(2,33;5;6,67)	(8,33;9,67;10)	(7;9,33;10)	(7,67;9,33;10)
A4	(7,67;9,33;10)	(5,67;9;10)	(8,33;9,67;10)	(7,67;9,33;10)	(8,33;9,67;10)
A5	(5;7,67;9)	(6,33;9;10)	(7,67;9,33;10)	(7,67;9,33;10)	(9;10;10)
A6	(7;9,33;10)	(5,67;9;10)	(6,33;9;10)	(7,67;9,33;10)	(7,67;9,33;10)

Lampiran 8: Matriks Fuzzy Keputusan Ternormalisasi

	C1	C2	C3	C4	C5
A1	(0,42;0,41;0,41)	(0,41;0,40;0,41)	(0,43;0,42;0,41)	(0,20;0,25;0,31)	(0,43;0,42;0,41)
A2	(0,38;0,40;0,41)	(0,30;0,39;0,41)	(0,39;0,41;0,41)	(0,12;0,20;0,27)	(0,36;0,39;0,41)
A3	(0,38;0,40;0,41)	(0,34;0,39;0,41)	(0,39;0,41;0,41)	(0,20;0,25;0,31)	(0,33;0,39;0,41)
A4	(0,45;0,42;0,41)	(0,48;0,43;0,41)	(0,47;0,44;0,41)	(0,52;0,52;0,49)	(0,46;0,43;0,41)
A5	(0,35;0,40;0,41)	(0,44;0,42;0,41)	(0,32;0,35;0,37)	(0,52;0,43;0,44)	(0,46;0,43;0,41)
A6	(0,45;0,42;0,41)	(0,44;0,42;0,41)	(0,43;0,42;0,41)	(0,60;0,61;0,55)	(0,39;0,40;0,41)

	C6	C7	C8	C9	C10
A1	(0,48;0,43;0,41)	(0,21;0,28;0,32)	(0,46;0,43;0,41)	(0,46;0,42;0,41)	(0,45;0,43;0,41)
A2	(0,40;0,42;0,41)	(0,21;0,28;0,32)	(0,42;0,41;0,41)	(0,35;0,39;0,41)	(0,35;0,38;0,41)
A3	(0,40;0,42;0,41)	(0,21;0,28;0,32)	(0,42;0,41;0,41)	(0,38;0,41;0,41)	(0,38;0,40;0,41)
A4	(0,44;0,42;0,41)	(0,52;0,50;0,48)	(0,42;0,41;0,41)	(0,42;0,41;0,41)	(0,42;0,41;0,41)
A5	(0,29;0,34;0,37)	(0,58;0,50;0,48)	(0,39;0,40;0,41)	(0,42;0,41;0,41)	(0,45;0,43;0,41)
A6	(0,40;0,42;0,41)	(0,52;0,50;0,48)	(0,32;0,38;0,41)	(0,42;0,41;0,41)	(0,38;0,40;0,41)

Lampiran 9: Matriks Fuzzy Keputusan Ternormalisasi Terbobot

	C1	C2	C3	C4	C5
A1	(0.35;0.40;0.41)	(0.29;0.38;0.41)	(0.27;0.38;0.41)	(0.11;0.20;0.28)	(0.19;0.26;0.33)
A2	(0.32;0.38;0.41)	(0.21;0.36;0.41)	(0.25;0.37;0.41)	(0.07;0.16;0.25)	(0.16;0.24;0.33)
A3	(0.32;0.38;0.41)	(0.24;0.36;0.41)	(0.25;0.37;0.41)	(0.11;0.20;0.28)	(0.14;0.24;0.33)
A4	(0.38;0.41;0.41)	(0.34;0.40;0.41)	(0.30;0.39;0.41)	(0.30;0.42;0.44)	(0.20;0.27;0.33)
A5	(0.29;0.38;0.41)	(0.31;0.39;0.41)	(0.20;0.31;0.37)	(0.30;0.34;0.39)	(0.20;0.27;0.33)
A6	(0.38;0.41;0.41)	(0.31;0.39;0.41)	(0.27;0.38;0.41)	(0.34;0.49;0.49)	(0.17;0.25;0.33)

	C6	C7	C8	C9	C10
A1	(0.30;0.35;0.37)	(0.18;0.27;0.32)	(0.32;0.38;0.41)	(0.26;0.34;0.37)	(0.35;0.41;0.41)
A2	(0.26;0.33;0.37)	(0.18;0.27;0.32)	(0.30;0.37;0.41)	(0.20;0.31;0.37)	(0.27;0.37;0.41)
A3	(0.26;0.33;0.37)	(0.18;0.27;0.32)	(0.30;0.37;0.41)	(0.22;0.33;0.37)	(0.29;0.39;0.41)
A4	(0.28;0.33;0.37)	(0.43;0.49;0.48)	(0.30;0.37;0.41)	(0.24;0.33;0.37)	(0.32;0.40;0.41)
A5	(0.18;0.27;0.34)	(0.48;0.49;0.48)	(0.27;0.36;0.41)	(0.24;0.33;0.37)	(0.35;0.41;0.41)
A6	(0.26;0.33;0.37)	(0.43;0.49;0.48)	(0.23;0.35;0.41)	(0.24;0.33;0.37)	(0.29;0.39;0.41)

Lampiran 10: Solusi Ideal Positif dan Solusi Ideal Negatif

	C1			C2			C3			C4			C5		
SIP	0,376	0,410	0,408	0,336	0,403	0,408	0,296	0,394	0,415	0,341	0,490	0,492	0,200	0,272	0,327
SIN	0,292	0,383	0,408	0,212	0,363	0,408	0,202	0,312	0,373	0,068	0,163	0,246	0,141	0,245	0,327

	C6			C7			C8			C9			C10		
SIP	0,305	0,346	0,373	0,480	0,488	0,480	0,320	0,384	0,408	0,258	0,338	0,367	0,346	0,413	0,408
SIN	0,183	0,274	0,336	0,177	0,271	0,320	0,225	0,346	0,408	0,196	0,315	0,367	0,269	0,371	0,408

Lampiran 9: Jarak Tiap Alternatif dengan SIP dan SIN

Kode	Alternatif	d+	d-
A04	Jendela Kaca-Ganda	0,071152	0,348066
A06	Sistem Kontrol	0,086078	0,375062
A05	Ventilasi	0,166877	0,315120
A01	Solar Termal	0,342274	0,153846
A03	Panas Bumi	0,354662	0,100294
A02	Tenaga Angin	0,386598	0,089271

Lampiran 10: Nilai Preferensi dan Perangkingan

Kode	Alternatif	V
A04	Jendela Kaca-Ganda	**0,830274**
A06	Sistem Kontrol	**0,813337**
A05	Ventilasi	**0,653780**
A01	Solar Termal	**0,310099**
A03	Panas Bumi	**0,220447**
A02	Tenaga Angin	**0,187595**

DAFTAR LAMPIRAN

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Kusumadewi, Sri. (2006). "Fuzzy Multi-Attribute Decision Making (Fuzzy MADM)". Yogyakarta. **Graha Ilmu.**

[2]. Mahdavi, Iraj (2008). "Designing a Model of Fuzzy TOPSIS in Multiple Criteria Decision Making". **Elsevier: Applied Mathematics and Computation 206: 607–617.**

[3]. Seman, Azmi Abu. (2015). "Implementing Fuzzy Approach to Assess The Best Hotel Services". **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences .**

[4]. Zadeh, L.A. (1975), "The Concept Of A Linguistic Variable And Its Application To Approximate Reasoning". **Inform. Sci. 8: 199-249.**

[5]. Chen, C.T. (2000). "Extensions of The TOPSIS For Group Decision-Making Under Fuzzy Environment". **Fuzzy Sets and Systems 114: pp. 1-9.**

[6]. Budiardjo, Eko (1998). "Kota Yang Berkelanjutan". **Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Tinggi dan Kebudayaan. Jakarta.**

[7]. Rouhani, S (2012). "Evaluation model of business intelligence for enterprisesystem using fuzzy TOPSIS". **Expert Systems with Applications 39, 3764-3771.**

[8]. Ciptomulyono, U (2000) Pengembangan Model Optimasi Keputusan Multi Kriteria MCDM (*Multi Criteria Decision Making*) untuk Evaluasi dan Pemilihan Proyek. **Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.**

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BIODATA PENULIS

Penulis bernama lengkap Henny Kusumaningrum ini dilahirkan di Pasuruan pada tanggal 28 Juli 1993. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Petungasri 01 Pandaan serta SMPN 2 Pandaan hingga lulus pada tahun 2008. Penulis berkesempatam menjadi salah satu siswa kelas internasional SMAN 1 Pandaan. Lulus SMA pada tahun 2011, penulis diterima di Jurusan Matematika FMIPA ITS melalui jalur SNMPTN Undangan.

Selama duduk di bangku kuliah, penulis juga aktif berorganisasi baik di dalam organisasi mahasiswa ITS (HIMATIKA ITS dan UKM Bahasa), maupun di luar (HIPMI Jatim). Penulis yang sejak 2012 bergabung di *volunteer* International Office ITS ini ikut serta dan berperan aktif dalam berbagai event di ITS, untuk menggaungkan internasionalisasi di civitas akademika ITS.

Pada Maret 2014, anak ketiga dari tiga bersaudara ini berkesempatan menjadi perwakilan dalam pertukaran pelajar ke Dankook University, Korea Selatan. Semasa satu semester studi di Korea, penulis terpilih menjadi penerima beasiswa *Global Korean Scholarship* yang diselenggarakan oleh pemerintah Korea. Setahun kemudian, pada Juli 2015, penulis terpilih menjadi perwakilan Indonesia pertama dalam studi bertemakan *Green Building* di negara konsep tersebut berasal, Austria.

Semasa studinya di Jurusan Matematika ITS, penulis memilih bidang minat Ilmu Komputer, pun dengan Tugas Akhir ini. Dari pengalaman yang lalu, penulis tertarik untuk membawa tema arsitektur kekinian tersebut ke dalam ilmu matematika. Untuk mendapatkan informasi yang berhubungan dengan penulis ataupun Tugas Akhir ini, penulis dapat dihubungi melalui alamat email: hennykusumaningrums@gmail.com